



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CAMPUS II AREIA-PB**

**TROCAS GASOSAS, CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E VIGOR DE**  
**SEMENTES DOS GÊNEROS *Opuntia* E *Nopalea***

**RONIMEIRE TORRES DA SILVA**

**AREIA-PB**  
**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CAMPUS II AREIA-PB**

**RONIMEIRE TORRES DA SILVA**

**TROCAS GASOSAS, CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E VIGOR DE**  
**SEMENTES DOS GÊNEROS *Opuntia* E *Nopalea***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia da Universidade Federal da  
Paraíba, Campus II Areia, PB, como requisito  
para obtenção do grau de Doutora em Agronomia.

**Comitê de Orientação:** Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno  
Dr. Alberício Pereira de Andrade

**AREIA-PB**  
**2019**

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da  
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S586t Silva, Ronimeire Torres da.

Trocas gasosas, caracterização citogenética e  
vigor de sementes dos gêneros Opuntia e Nopalea. /  
Ronimeire Torres da Silva. - Areia, 2019.  
115 f.

Orientação: Riselane de Lucena Alcântara Bruno.  
Coorientação: Alberício Pereira de Andrade.  
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Caatinga. 2. Fotossíntese. 3. Poliploides.  
4. Sementes. 5. Semiárido. I. Bruno, Riselane de  
Lucena Alcântara. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

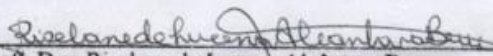
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

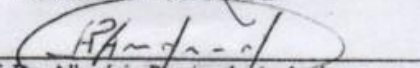
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

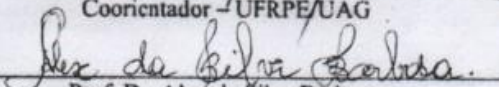
TROCAS GASOSAS, CARACTERIZAÇÃO CITOGÊNÉTICA E VIGOR DE  
SEMENTES DOS GÊNEROS *Opuntia* E *Nopalea*

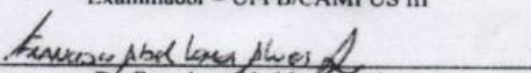
AUTORA: RONIMEIRE TORRES DA SILVA

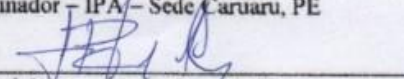
Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA em  
AGRONOMIA (Agricultura Tropical) pela comissão Examinadora:

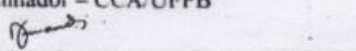
  
Prof. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno  
Orientadora – CCA/UFPB

  
Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade  
Coorientador – UFRPE/UAG

  
Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa  
Examinador – UFPB/CAMPUS III

  
Dr. Francisco Abel Lemos Alves  
Examinador – IPA/ – Sede Caruaru, PE

  
Prof. Dr. Leonardo Pessoa Félix  
Examinador – CCA/UFPB

  
Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes  
Examinador – UFCG

Data da realização: 29/03/2019

À minha Mãe, **Maria Edineide da Silva Torres**, ao meu Pai, **Raimundo Torres da Silva** e às minhas Irmãs **Raiane e Rusiane**, motivo das minhas maiores forças. É por vocês que luto incansavelmente.

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Não foi fácil chegar até aqui, a caminhada foi longa e cansativa, só foi possível porque no caminho tive ajuda de anjos disfarçados de amigos. E a vocês meu eterno agradecimento;

Agradeço a Deus e Maria santíssima, pela presença viva em todos os momentos da minha vida. Por não me deixar caminhar sozinha nos momentos difíceis. Por ser a luz dos meus passos, meus olhos na escuridão, minha fortaleza na aflição;

Minha mãe Maria e meu pai Raimundo razão do meu viver, meu combustível diário, é por vocês que consegui chegar aonde estou. Obrigada por todo amor e carinho! Pelas orações e preces, por todas as vezes que deixaram de fazer por vocês para fazerem por nós! Peço a Deus diariamente a oportunidade de poder retribuir tudo que fazem por mim! A vocês meu infinito agradecimento;

Minhas irmãs Raiane e Rusiane, por estarem sempre comigo me apoiando e me dando forças com palavras de incentivo e carinho. Por não me deixar desanimar nas horas difíceis, sei que posso contar sempre com vocês;

Aos meus avós Diogo e Tonete pelas orações diárias, pela ajuda durante os cinco anos de graduação, dois de mestrado e três de doutorado, obrigada por se fazerem tão presentes em nossas vidas;

Ao meu namorado, amigo e companheiro Caubí, você que sempre me apoia nas tomadas de decisões. Obrigada pelo seu amor e carinho, por me dizer as palavras certas nas horas que mais precisei, por estar tão presente na minha vida, ainda que distante, por acreditar em me (as vezes mais do que eu). Você ao meu lado fez essa caminhada ser mais fácil;

A minha orientadora, professora Riselane, pelos ensinamentos e dedicação ao longo do doutorado. Agradeço por ter juntamente com o professor Alberício confiado a mim o projeto da Palma Forrageira. Projeto esse que me proporcionou muitos conhecimentos novos, por ser de outra área;

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, na pessoa de Dr. Djalma Cordeiro pela confiança, disponibilização das cultivares de palma e por estar sempre a disposição de me receber no instituto;

Ao professor Leonardo Félix, por ter aberto as portas do Laboratório de Citogenética Vegetal para realização de parte da tese, e a todos de sua equipe, em vocês

encontrei amizade verdadeira, pessoas humanas e preocupadas com o próximo. Tenho um carinho especial por cada um. Obrigada pelas brincadeiras, risadas, cafés, discussão de artigos, pelas compras em Santa Cruz (risos). Vocês são muito especiais (Angeline, José, Cláudio, Enoque, Catileya, Rodrigo, Willian, Joel).

A minha amiga Camila Ferreira, que desde o mestrado esteve comigo, me ouvindo, me animando e compartilhando os momentos felizes e turbulentos da pós-graduação. Sua amizade é muito importante para mim;

Sabe aquele anjo na terra em forma de amigo? Eu tenho um. A você Felipe Nollet meu agradecimento mais que especial. Palavras jamais serão o bastante para agradecer tudo que fez por mim. Você com esse jeito simples me conquistou logo à primeira vista. Muito obrigada por tudo, pela ajuda na tese, pelos conselhos de como lidar com as situações difíceis, pelos ensinamentos e pela sua amizade. Você é muito especial e merece o melhor;

Durante a pós-graduação ganhei amigos que levarei para o resto da vida. Obrigada pelo carinho de vocês e pelo apoio, principalmente na reta final da tese, a vocês meu carinho todo especial (Cristiany (Cris), Joelma, Izabela, Kadson), a vida fica mais colorida quando se tem amigos;

A meu amigo Miguel Avelino pela ajuda na coleta das palmas, idas e vindas em Arcoverde. Pelas palavras de força no decorrer do trabalho. A Romário pela disponibilidade em me ajudar nas leituras com o IRGA no horário da meia noite. Rodrigo e Jackson pela ajuda na avaliação dos cladódios; ao meu afilhado Hélio, por sempre estar disponível em tirar minhas dúvidas quanto às análises estatísticas; meu amigo Fábio, pessoa que tenho um carinho muito especial; a companheira de grupo de pesquisa Karialane, sua ajuda foi fundamental nessa fase final da tese; e aos amigos da turma 2016.1, Anselmo, Fátima, Ygor, obrigada pelas madrugadas de estudos;

Ao professor Walter Esfrain, pela ajuda com as análises estatísticas, e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos transmitidos durante o curso de doutorado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, observações e contribuições dadas ao trabalho;

A gratidão, é a maior virtude do ser humano, sou eternamente grata a cada um de vocês, pois todos nós precisamos da ajuda de alguém, se não for agora, será mais adiante.

Assim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização de mais uma etapa da minha vida.

MUITO OBRIGADA!

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I - Trocas gasosas em cultivares de palma forrageiras dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

**Figura 1.** Boxplot da dispersão dos valores referentes a: A, condutância estomática –  $gs - (mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1})$ ; B, assimilação líquida de  $CO_2 - A - (\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1})$ ; C, concentração intercelular de  $CO_2 - Ci - (\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1})$  e D, transpiração –  $E - (mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1})$  em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

**Figura 2.** Boxplot da dispersão dos valores referentes a: A, eficiência instantânea de carboxilação –  $EiC - (A/Ci)$ ; B, temperatura foliar –  $Temp\ (^{\circ}C)$ ; C, eficiência instantânea do uso da água –  $EUA - (A/E)$  e D, eficiência intrínseca do uso da água –  $EIUA\ (A/gs)$  em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

**Figura 3.** Dispersão das variáveis de trocas gasosas em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Concentração Intercelular de  $CO_2 - Ci$ ; Temperatura Foliar –  $Temp$ ; Taxa de Transpiração –  $E$ ; Condutância Estomática –  $gs$ ; Eficiência Instantânea de Carboxilação –  $EiC$ ; Assimilação Líquida  $CO_2 - A$ ; Eficiência Instantânea do uso da Água –  $EUA$  e eficiência intrínseca do uso da água –  $EIUA$

**Figura 4.** Dendrograma de dispersão das cultivares de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*.  $Temp$  - Temperatura foliar;  $gs$  - Condutância estomática;  $E$  - Transpiração,  $Ci$  - Concentração intercelular de  $CO_2$ ;  $EUA$  - Eficiência instantânea do uso da Água;  $A$  - Assimilação líquida  $CO_2$ ;  $EiC$  - Eficiência instantânea de carboxilação e  $EIUA$  - Eficiência intrínseca do uso da água

### Capítulo II - Existe correlação entre nível de ploidia e características fenotípicas em Cactaceae? Implicações para o melhoramento genético de *Opuntia* e *Nopalea*



**Figura 1.** Variedades analisadas de *Nopalea cochenillifera*: A. ‘Miúda’; B. ‘IPA Sertânia’; C. ‘F21’; D. ‘Orelha de Onça’; E. ‘O. E. M. Lisa’; F. ‘F21 Semente’; G. ‘F21 Cultura de tecido 6’; e *Opuntia atropes*: H. ‘F8’; I. ‘F24’

**Figura 2.** Variedades analisadas de *O. ficus-indica*: A. ‘Gigante’; B. ‘Redonda’; C. ‘Clone 20’; D. ‘IPA 98/T23 F5’; *O. larreyi*: E. ‘V19’; *O. stricta*: F. ‘Orelha de Elefante Mexicana’; *O. undulata*: G. ‘Orelha de Elefante Africana’; H. ‘Clone 6 O. E. A.’; I. ‘Clone 9 O. E. A.’; *Opuntia* sp: J. ‘Chilly Fruit’; K. ‘Algerian’; L. ‘Liso Forrageiro’; M. ‘V23’

**Figura 3.** Complementos cromossômicos com  $2n = 22$ , pertencentes às cultivares de *Nopalea cochenillifera*, corados com DAPI e CMA: A. ‘Miúda’, B. ‘IPA Sertânia’, C. ‘F21’, D. ‘Orelha de Onça’, E. ‘O.E.M. Lisa’, F. ‘F21 Semente’, G. ‘F21 Cultura de tecido 6’. Insertos em C, D, F, G indicam bandas CMA<sup>+</sup> discretas. Barra em G = 10µm

**Figura 4.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* corados com DAPI e CMA. *Opuntia atropes* com  $2n = 22$ : A. ‘F8’, B. ‘F24’. *O. ficus-indica* com  $2n = 88$ : C. ‘Gigante’, D. ‘Redonda’, E. ‘Clone 20’, F. ‘IPA 98/T51 F3’, G. ‘IPA 98/T23 F5’. Barra em G = 10µm

**Figura 5.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* corados com DAPI e CMA. A. *O. larreyi* ‘V19’ com  $2n = 44$ . *O. stricta* com  $2n = 44$ : B. ‘Orelha de Elefante Mexicana’. *O. stricta* com  $2n = 88$ : C. ‘O.E.M. Espinho’. *O. undulata* com  $2n = 22$ : D. ‘Orelha de Elefante Africana’, e com  $2n = 44$ : E. ‘Clone 6 O.E.A.’, F. ‘Clone 9 O.E.A.’ Barra em F = 10µm

**Figura 6.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* sp.com  $2n = 88$ , corados com DAPI e CMA. A. ‘Chilly Fruit’, B. ‘Algerian’, C. ‘Liso Forrageiro’, D. ‘V23’. Barra em D = 10µm

### **Capítulo III - Qualidade fisiológica de sementes e plântulas de cultivares de palma forrageira associado ao seu nível de ploidia**

**Figura 1.** Peso dos frutos (A) e Número de Sementes/Fruto (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 2.** Comprimento (A) e Diâmetro dos Frutos (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 3.** Porcentagem de Emergência (A) e Primeira Contagem de Emergência (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 4.** Peso de mil Sementes (A) e Condutividade Elétrica (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 5.** Comprimento da Parte Aérea (A) e Raiz (B), Massa Fresca (C) e Seca de Plântulas (D) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 6.** Comprimento (A) e Largura (B), Massa Fresca (C) e Seca de Cladódios (D) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 7.** Peso dos frutos (A) e Número de Sementes/Fruto (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 8.** Comprimento (A) e Diâmetro dos frutos (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 9.** Porcentagem de Emergência (A) e Primeira Contagem de Emergência (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 10.** Peso de mil Sementes (A) e Condutividade Elétrica (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’) gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Letras comparam cultivares dentro de cada nível de ploidia. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 11.** Comprimento da Parte Aérea (A) e Raiz (B), Massa Fresca (C) e Massa Seca de Plântulas (D) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 12.** Comprimento (A) e Largura dos Cladódios (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

**Figura 13.** Massa Fresca (A) e Massa Seca dos Cladódios (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de

Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo I - Trocas gasosas em cultivares de palma forrageiras dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea***

**Tabela 1.** Resultados da análise química do material de solo utilizado para plantio dos cladódios, na camada de 0-20 cm de profundidade. Areia, PB, UFPB, 2019

**Tabela 2.** Relação das cultivares de palma forrageira utilizadas na análise de trocas gasosas

**Tabela 3.** Matriz de autovalores e autovetores de dois componentes principais (CP) das variáveis relacionadas a trocas gasosas em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

### **Capítulo II - Existe correlação entre nível de ploidia e características fenotípicas em Cactaceae? Implicações para o melhoramento genético de *Opuntia* e *Nopalea***

**Tabela 1.** Espécies e cultivares pertencentes aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* (Cactaceae) analisadas por meio da dupla coloração com os fluorocromos CMA e DAPI. São apresentados os registros oficiais do IPA, a origem das cultivares, os parentais e/ou clones, números cromossômicos ( $2n$ ) e padrões de bandas heterocromáticas CMA<sup>+</sup> (TER = terminais, PER = pericentroméricas e INT = intercalares) para todas as cultivares analisadas

**Tabela 2.** Média e desvio padrão das variáveis analisadas para cada cultivar pertencente aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* (Cactaceae). É apresentado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson entre nível de ploidia (X) e as seguintes variáveis: LAR (largura do cladódio), COM (comprimento do cladódio), ESP (espessura do cladódio), AC (Área do cladódio), ALT (altura), NC (número de cladódios), AFT (área fotossintética total), PR (produtividade)

**Tabela 3.** ANOVA e teste de Tukey para as variáveis quantitativas (Largura, Comprimento, Espessura, Área do cladódio, Altura, Número de cladódios, Área fotossintética total, Produtividade) em relação aos três diferentes níveis de ploidia das cultivares pertencentes aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*: diploides ( $2n = 2x = 22$ ), tetraploides ( $2n = 4x = 44$ ) e octaploides ( $2n = 8x = 88$ ).

**Tabela 4.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias resistentes e não resistentes à seca. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação Phi-quadrado, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates

**Tabela 5.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias resistentes e susceptíveis a Cochonilha. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação Phi-quadrado, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates

**Tabela 6.** Frequências observadas de diploides e octaploides distribuídos nas categorias resistentes e susceptíveis a Cochonilha. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação Phi-quadrado, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

**Tabela 7.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias “muito espinho” e “pouco espinho”. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação Phi-quadrado, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

### **Capítulo III - Qualidade fisiológica de sementes e plântulas de cultivares de palma forrageira associado ao seu nível de ploidia**

**Tabela 1.** Nome comum, espécie e número de cromossomos de cultivares de palma forrageira utilizadas no ensaio

**Tabela 2.** Conteúdo de água em sementes de diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) utilizadas no ensaio

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as características peso dos frutos, número de sementes por fruto, comprimento dos frutos (CF), diâmetro dos frutos (DF), porcentagem de emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), peso de mil

sementes, condutividade elétrica (CE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa fresca de plântulas (MFPL), massa seca de plântulas (MSPL), comprimento do cladódio (CCL), largura do cladódio (LCL), massa fresca de cladódios (MFCL) e massa seca de cladódios (MSCL) de palma forrageira em função do nível de ploidia

SILVA, R. T. **Trocas gasosas, caracterização citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea***. Areia-PB, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Mar. 2019, 115. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno. Coorientador Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade.

## RESUMO GERAL

Amplamente cultivada no Nordeste do Brasil, a palma forrageira pertence à família das cactáceas tendo *Opuntia* e *Nopalea* como os principais gêneros. Trabalhos envolvendo trocas gasosas, variações cromossômicas e qualidade fisiológica de sementes das diferentes espécies ocorrentes nesta família ainda são incipientes. Objetivou-se com este estudo avaliar as trocas gasosas, correlacionar a análise cromossômica com características fenotípicas de interesse para o melhoramento genético e analisar a qualidade física e fisiológica de sementes de palma forrageira em função do nível de ploidia. As cultivares utilizadas foram coletadas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). A pesquisa foi desenvolvida em três experimentos: no primeiro (i), realizou-se avaliação de trocas gasosas, em 21 cultivares, pertencentes às espécies *Opuntia ficus-indica*; *O. stricta*; *O. undulata*; *O. atropes*; *Opuntia* sp. e *Nopalea cochenillifera*. O cultivo dos cladódios se deu em casa de vegetação, sendo o cladódio secundário avaliado de 00:00 horas, utilizando o analisador portátil de gás por infravermelho - IRGA. Parâmetros de trocas gasosas avaliados: taxa de assimilação líquida do CO<sub>2</sub>, condutância estomática, concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares, transpiração e temperatura foliar; baseando-se em parte desses dados, foram estimadas a eficiência instantânea e intrínseca de uso da água, e eficiência instantânea de carboxilação. Os dados foram analisados estatisticamente por meio de boxplot e, em seguida, submetidos às análises multivariada de componentes principais e de agrupamento. No segundo experimento (ii), para a caracterização cromossômica, seis espécies de *Opuntia*, totalizando 17 cultivares e 7 cultivares de *N. cochenillifera* foram avaliadas através da dupla coloração com os fluorocromos Cromomicina A<sub>3</sub> (CMA) e 4',6-diamidino-2-fenilindol (DAPI). No Banco de Germoplasma do IPA, foram determinadas características quantitativas (largura, comprimento, espessura, área do cladódio, número de cladódios totais, altura de plantas e área fotossintética total) para serem correlacionadas com o nível de ploidia; o grau de associação entre o nível de ploidia de cada cultivar e as variáveis foi analisado através do coeficiente de correlação linear de Pearson. As cultivares foram separadas em três grupos, com base no número de cromossomos: diploide ( $2n=22$ ), tetraploide ( $2n=44$ ) e octaploide ( $2n=88$ ). A avaliação da produtividade foi ao final do ciclo de dois anos de produção. As variáveis qualitativas de adaptação à seca (1 = adaptadas à seca e 2 = menos adaptadas à seca) e à cochonilha do carmim (A = resistente; B = susceptível), bem como, presença de espinhos (até 4 espinhos = poucos espinhos e de 5 a 9 espinhos por aréolas = muito espinhos), foram caracterizados e avaliados por meio da Análise de Variância, sendo o teste de Tukey aplicado para identificar a fonte da significância. No terceiro experimento (iii), a qualidade física foi caracterizada por meio da massa de mil sementes e número de sementes por fruto e biometria dos frutos levando-se em consideração: comprimento, diâmetro e peso de frutos. Para análise da qualidade fisiológica das sementes considerou-se a primeira contagem da emergência, porcentagem de emergência, condutividade elétrica das sementes, comprimento da parte aérea e da raiz, massa fresca e seca de plântulas; os cladódios foram analisados por comprimento, largura, massa fresca e seca. A análise dos dados foi realizada em delineamento de esquema aninhado, sendo três



níveis de ploidia e três cultivares dentro de cada nível. Com base nos resultados do primeiro experimento, houve variação entre gêneros e entre cultivares de palma forrageira para as trocas gasosas, sendo possível a formação de três grupos de cultivares e dois componentes principais. As cultivares ‘Verdura’ (*Opuntia* sp. \_3) e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1) possuem maior desempenho fotossintético, enquanto ‘IPA Clone 20’ (*O. ficus-indica*\_3) e ‘F21 Sementes’ (*Nopalea*\_1) detém menor transpiração. As cultivares ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1); ‘Miúda’ (*Nopalea*\_4) e ‘Copena’ (*O. ficus-indica*\_1), detém maior adaptação as regiões áridas e semiáridas. No segundo experimento, todas as cultivares das espécies *N. cochenillifera*, *O. atropes* e *O. undulata* ‘Orelha de Elefante Africana’ têm  $2n = 22$  cromossomos. Indivíduos tetraplóides ( $2n = 44$ ) foram identificados em quatro cultivares de *Opuntia* e octaplóides ( $2n = 88$ ) em 10 cultivares do mesmo gênero. O bandeamento com CMA/DAPI revelou a ocorrência de apenas um tipo de heterocromatina, formada por bandas CMA<sup>+</sup>/DAPI<sup>+</sup>. Com relação ao terceiro experimento, observou-se que o nível de ploidia correlaciona-se positivamente ( $p < 0,05$ ) com o número de sementes por fruto e a qualidade fisiológica das sementes e plântulas. Entretanto, as cultivares se comportam de maneira diferente ( $p < 0,05$ ) dentro do mesmo nível de ploidia. O vigor e a emergência dos poliploides se sobressaem em relação aos diploides. No contexto fenotípico associado à genética da planta, observou-se que a cultivar ‘IPA Sertânia’ produz frutos mais pesados e vigorosos, enquanto a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ origina cladódios mais pesados.

**Palavras-chave:** Caatinga; Fotossíntese; Poliploides; Sementes; Semiárido.

SILVA, R. T. **Gas exchange, cytogenetic characterization and seed vigor of the genera *Opuntia* and *Nopalea***. Areia-PB, Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, Mar. 2019, 115. Thesis (Doctorate in Agronomy). Postgraduate Program in Agronomy. Advisors: Profa. Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno. Professor Dr. Albericio Pereira de Andrade.

## GENERAL ABSTRACT

Widely cultivated in the Northeast Region of Brazil, forage palm belongs to the family Cactaceae, with *Opuntia* and *Nopalea* as the main genera. Studies involving gas exchange, chromosome variation and physiological quality of seeds belonging to different species in this family are still incipient. The objectives of this study were to evaluate the gas exchange, to correlate the ploidy levels with phenotypic characteristics of interest for genetic improvement and to analyze the physical and physiological quality of forage palm seeds as a function of ploidy level. The cultivars used were obtained at the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA). The research was developed in three experiments: in the first (i), gas exchange evaluation was performed in 21 cultivars, belonging to *Opuntia ficus-indica*, *O. stricta*, *O. undulata*, *O. atropes*, *Opuntia* sp. and *Nopalea cochenillifera*. The cladodes were cultivated in a greenhouse, and the secondary cladode was evaluated at 00:00 hours, using the portable infrared gas analyzer - IRGA. Gas exchange parameters evaluated: CO<sub>2</sub> net assimilation rate, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> concentration in intercellular space, transpiration and leaf temperature; Based in part on these data, the instantaneous and intrinsic water use efficiency and the instantaneous carboxylation efficiency were estimated. Data were statistically analyzed by boxplot and then subjected to multivariate principal component and cluster analysis. In the second experiment (ii), for chromosome characterization, six species of *Opuntia*, totaling 17 cultivars and 7 cultivars of *N. cochenillifera* were evaluated by double staining with the fluorochromes Chromomycin A<sub>3</sub> (CMA) and 4', 6-diamidino-2-phenylindole (DAPI). In the IPA Germplasm Bank, quantitative characteristics (width, length, thickness, cladode area, total number of cladodes, plant height and total photosynthetic area) were determined to be correlated with ploidy level; The degree of association between the ploidy level of each cultivar and the variables were analyzed using Pearson's linear correlation coefficient. The cultivars were separated into three groups based on the number of chromosomes: diploid ( $2n = 22$ ), tetraploid ( $2n = 44$ ) and octaploid ( $2n = 88$ ). The evaluation of the productivity was done at the end of two year production cycle. The qualitative variables drought adaptation (1 = drought-adapted and 2 = less drought-adapted) and carmine cochineal resistance (A = resistant; B = susceptible), as well as the presence of thorns (few thorns = up to 4 thorns and many thorns = from 5 to 9 thorns per areolas) were characterized and evaluated by analysis of variance, and the Tukey test was applied to identify the source of significance. In the third experiment (iii), physical quality was characterized by mass of one thousand seeds and number of seeds per fruit and fruit biometrics taking into account: length, diameter and weight of fruits. For seed physiological quality analysis, the first emergence count, emergence percentage, seed electrical conductivity, shoot and root length, fresh and dry seedling mass were considered; The cladodes were analyzed by length, width, fresh and dry mass. Data analysis was performed in a nested scheme design, with three ploidy levels and three cultivars within each level. Based on the results of the first experiment, there was variation between genera and forage palm cultivars for gas exchange, being possible the formation of three cultivars groups and two main components. The cultivars 'Verdura'

(*Opuntia* sp. \_3) and ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1) have higher photosynthetic performance, while ‘IPA Clone 20’ (*O. ficus-indica*\_3) and ‘F21 Sementes’ (*Nopalea*\_1) have lower transpiration. The cultivars ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1); ‘Miúda’ (*Nopalea*\_4) and ‘Copena’ (*O. ficus-indica*\_1) have greater adaptation to arid and semiarid regions. In the second experiment, all cultivars of *N. cochenillifera*, *O. atropes* and *O. undulata* ‘Orelha de Elefante Africana’ have  $2n = 22$  chromosomes. Tetraploid individuals ( $2n = 44$ ) were identified in four *Opuntia* and octaploid cultivars ( $2n = 88$ ) in 10 cultivars of the same genus. CMA/DAPI banding revealed only one type of heterochromatin formed by CMA<sup>+</sup>/DAPI<sup>+</sup> bands. Regarding the third experiment, it was observed that the ploidy level is correlated positively ( $p < 0.05$ ) with the number of seeds per fruit and the physiological quality of seeds and seedlings. However, cultivars behave differently ( $p < 0.05$ ) within the same ploidy level. The vigor and emergence of polyploids stand out over diploids.

**Keywords:** Caatinga, Photosynthesis, Polyploids, Seeds, Semiarid.

## SÚMARIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO I.....	9
RESUMO.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4. CONCLUSÕES.....	28
5. REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO II.....	32
RESUMO.....	32
1. INTRODUÇÃO.....	34
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3. RESULTADOS.....	40
4. DISCUSSÃO.....	53
5. CONCLUSÕES.....	58
6. REFERÊNCIAS.....	59
CAPÍTULO III.....	64
RESUMO.....	64
1. INTRODUÇÃO.....	66
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4. CONCLUSÕES.....	89
5. REFERÊNCIAS.....	89

## INTRODUÇÃO GERAL

Na região semiárida brasileira está inserida a Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, em áreas dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e do Norte de Minas Gerais, ocupando aproximadamente 12% do território nacional, cerca de 900 mil km<sup>2</sup> (HOLANDA et al., 2015; IBGE, 2017). É um bioma rico, tendo um complexo vegetacional com ambientes distintos, fisionomias variadas e flora diversificada, composta de espécies arbóreas e herbáceas, plantas lenhosas de pequeno e grande porte e plantas caducifólias, tendo as Cactáceas como uma das famílias de maior relevância, sendo muitas das espécies endêmicas da região Nordeste (ANDRADE et al., 2006; CARVALHO-NETO et al., 2017), sendo utilizada por muitos agricultores do semiárido do Brasil, em especial no período de estiagem. Isso se dá em função dos cactos possuírem papel relevante na ecologia e sustentabilidade de ecossistemas, utilizados como fonte de alimento e água para diversos animais (TAYLOR; ZAPPI, 2004). Como também, devido à adaptação a ambientes com déficit hídrico, onde a elevada produção de forragem de alta qualidade e de baixo custo, torna-se atraente em comparação a outras forrageiras cultivadas (SANTOS et al., 2006).

A família Cactaceae faz parte das Angiospermas, constituindo o segundo maior grupo de plantas da região neotropical (BRAVO FILHO et al., 2018), com, aproximadamente, ca. 94 gêneros e 1.159 espécies (STEVENS, 2015). No Brasil, a palma foi introduzida pelos portugueses na época da colonização, por volta de 1818, provavelmente trazida das ilhas Canárias para a cidade do Rio de Janeiro, visando a produção de corante vermelho produzido pela cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) que se desenvolvem em seus cladódios, usado na indústria (SIMÕES et al., 2005).

O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade dessa família, ficando atrás do México e do Sudoeste Andino (GUERRERO et al., 2018), com 39 gêneros e 260 espécies, sendo endêmicos do Nordeste brasileiro 25 gêneros e 105 espécies (TAYLOR et al., 2015). A família é subdividida em quatro subfamílias: Cactoideae, malhuenioideae, Opuntioideae e Pereskioideae (GRIFFTER, 2004).

A palma forrageira, é dentre as cactáceas a de maior importância econômica no Brasil e no mundo, devido as várias formas de utilização, podendo ser usada como ornamental, medicina tradicional, usos místico-culturais, culinária e produtos diversos

(BRAVO FILHO et al., 2018). Apesar de todas essas utilidades, a maior parte das áreas plantadas com palma no semiárido do Nordeste é unicamente para a produção de forragem para animais, principalmente, na época seca do ano; isso ocorre devido ao elevado potencial de produção de biomassa, mesmo em condições de baixa pluviosidade quando comparada à vegetação nativa da Caatinga (SANTOS et al., 2006). A palma forrageira além de suprir parte da demanda nutricional dos animais, também contribui para a ingestão de água, reduzindo a necessidade de seu fornecimento para animais, pois possui cerca de 90% de água na sua composição (LIRA et al., 2015), o que deve ser considerada como uma excelente estratégia alimentar onde esse elemento torna-se limitado (CARVALHO NETO et al., 2017).

A palma forrageira apresenta hábito de crescimento ereto ou estendido, podendo alcançar 3,5 a 5,0 metros de altura. O sistema radicular é extenso e ramificado, rico em raízes finas absorventes e superficiais. Os cladódios (caules modificados) têm forma de raquete ovoide ou alongada atingindo de 60 a 70 cm de comprimento. Em ambos os lados estão presentes gemas (auréolas), que têm a capacidade de desenvolver novos cladódios, flores e raízes. As auréolas apresentam em sua cavidade espinhos (folhas modificadas) em números e tamanhos variados. As flores são sésseis, hermafroditas e solitárias, se desenvolvem normalmente na parte superior dos cladódios; a coloração é variável, vermelha, amarela, branca, entre outras cores. O número de flores por cladódio varia de três a nove. O fruto é uma baga com ovário inferior simples e carnoso. A forma e o tamanho variam conforme a espécie, podendo ser ovóides, redondos, elípticos e oblongos, com as extremidades achatadas, côncavas ou convexas, pode ser de cor vermelha, alaranjada, roxa, amarelo e verde, com a polpa também da mesma cor. A sua casca varia em espessura e também na quantidade de polpa. Possui elevada quantidade de sementes, com cerca de 0,5 cm (GALLEGOS-VÁZQUEZ et al., 2005; SANTOS et al., 2006).

As espécies de palma forrageira mais cultivadas no Brasil pertencem aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, com uma área de aproximadamente 500.000 ha, concentrando-se na região Nordeste cerca de 450.000 ha. Os outros 50.000 ha são cultivados nos municípios de Valinhos, Jundiaí, Mogi das Cruzes, Campinas e Itapeva no estado de São Paulo, cultivados para a produção de frutas, vendidas nos principais supermercados das capitais brasileiras e exportadas para a Europa e para os Estados Unidos (PEREIRA; LOPES, 2011; DUBEUX-JÚNIOR et al., 2013).

As cultivares, dentro de cada gênero, possuem diferenças agrônômicas; as do gênero *Opuntia* variam entre si em porte, formato dos cladódios e densidade de aréolas.

A floração ocorre, preferencialmente, no terço médio superior da copa, onde os cladódios que recebem maior incidência luminosa são os mais férteis (SEGANTINI et al., 2010). As cultivares de *Nopalea* têm porte variado, dois a nove metros de altura, com cladódios geralmente elípticos. Certas espécies destacam-se por sua espinhosidade e porte elevado, no entanto, as espécies utilizadas na alimentação animal são de porte moderado, variando entre dois e quatro metros, com espinhos geralmente ausentes (LIM, 2012).

Um dos principais processos fisiológicos, e que pode influenciar nos aspectos de crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, é a fotossíntese e a perda de água pelas plantas (transpiração), podendo ser utilizadas como ferramenta para indicar condições de estresses causada pelo ambiente, e selecionar condições apropriadas para diferentes espécies (PASTENES et al., 2003; LIN; HSU, 2004; LARCHER, 2006; ZHANG et al., 2007).

A adaptação das cactáceas às condições de elevada temperatura e precipitação pluvial variável, ocorre devido o processo fotossintético metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), com a abertura dos estômatos à noite para fixação do CO<sub>2</sub> em fosfoenolpiruvato para formar o oxaloacetato, armazenado sob a forma de ácido málico, que sofre reações e é transformado em moléculas de glicose, no período diurno. A temperatura amena da noite faz com que se reduzam a perda de água no processo de fixação de CO<sub>2</sub>, uma vez que pela mesma cavidade que é absorvido o CO<sub>2</sub> acontece a transpiração e perda de água da planta (TAIZ et al., 2017).

A propagação da palma forrageira pode ser realizada de forma sexual e vegetativa, sendo o último o mais comum. Isso ocorre em função de poucas informações para o uso do método sexual, e pelo fato de as sementes apresentarem o tegumento lignificado, contendo cerca de 55% de lignina e celulose, envolvendo o embrião com 90-95%, resultando em bloqueio da protrusão das plântulas (HABIBI et al., 2008). Porém, a propagação por sementes é um método que apresenta elevada variabilidade genética, o que é bastante útil no melhoramento genético de plantas, para selecionar cultivares com características desejáveis, como tolerância a diferentes fatores de estresse (OCHOA et al., 2015).

Um dos parâmetros citogenéticos mais utilizado nos estudo dos vegetais tem sido a variação no número cromossômico (GUERRA, 2000). Essa variação é consequência de dois processos de evolução cariotípica atuantes nos vegetais: as alterações estruturais que modificam a morfologia e/ou ocasionam pequenas variações numéricas (1-2 pares) e a poliploidia, que duplica todo o conjunto cromossômico (STEBBINS, 1971). As

Cactáceas apresentam número básico de cromossomos  $x=11$ , e a principal variação são os poliploides, com cerca de 20% de suas espécies (CASTRO et al., 2016).

As espécies do gênero *Opuntia* podem ser diploides  $2n$ , e os poliploides são triploides ( $3x$ ), tetraploides ( $4x$ ) e octaploides ( $8x$ ) (MAJURE et al., 2012). Da mesma forma que no gênero *Opuntia*, a poliploidia dentro do gênero *Nopalea* é comum com registros de  $2n=22$  até  $2n=88$ , evidenciando a evolução poliplóide do gênero em questão (VASCONCELOS et al., 2011). Nesse sentido, a poliploidia tem sido muitas vezes correlacionada com aspectos fisiológicos, diferenças morfológicas e distribuição geográfica (GUTIÉRREZ-FLORES et al., 2018).

Cerca de 704 espécies de cactáceas possuem registro de números cromossômicos, o que corresponde a 37% das espécies. Grande parte dos estudos citogenéticos referem-se a espécies provenientes da flora norte americana (PINKAVA et al., 1992). Para as espécies da região Nordeste do Brasil foram realizadas algumas contagens no gênero *Melocactus* (ASSIS et al., 2003); *Melocactus* e *Pilosocereus* (PITREZ, 2006); *Arrojadoa*, *Brasiliopuntia*, *Cereus*, *Nopalea*, *Opuntia*, *Pereskia*, *Pilosocereus* e *Rhipsalis* (CASTRO et al., 2016).

A poliploidia é um fenômeno em que os indivíduos possuem mais de dois conjuntos cromossômicos completos por núcleo celular (SATTTLER et al., 2016). Existem dois tipos principais de poliploides, baseando-se na forma como o tamanho do genoma é aumentado. Os autopoliploides, que resulta da duplicação de apenas um genoma, e os alopoliploides que é a combinação de dois ou mais genomas diferentes (OLSEN et al., 2006). Em plantas, sabe-se que o processo de poliploidização é um fator importante sobre a evolução das angiospermas e que pode estar envolvido na ocupação/invasão de novos habitats (SOLTIS et al., 2016; ALIX et al., 2017).

A poliploidia pode ter influência direta nas características agronômicas das plantas; espécies poliploides no geral são mais robustas e compactas, produzem mais frutos e flores que as plantas originais, tradicionalmente diploides. Quanto à anatomia e fisiologia, o aumento de ploidia resulta no aumento da largura das folhas e flores, caules e raízes mais espessos, aumento do comprimento dos estomas e diminuição de sua densidade na folha, alargamento ou atraso do período de floração, aumento do número de células e de cloroplastos por célula e do teor de clorofila nas células mais exteriores das folhas. Essas plantas possuem, geralmente, maior resistência a doenças e também são mais adaptadas a estresses ambientais (BECK et al., 2003; SHAO et al., 2003). Em função



dessas características vantajosas, os melhoristas selecionam e realizam cruzamentos entre plantas poliploides (VICHATO et al., 2007).

## REFERÊNCIAS

- ALIX, K.; GÉRARD, P. R.; SCHWARZACHER, T.; HESLOP-HARRISON, J. S. P. Polyploidy and interspecific hybridization: partners for adaptation, speciation and evolution in plants. **Annals of Botany**, v. 120, n. 2, p. 183–194, 2017.
- ANDRADE A. P.; SOUZA E. S.; SILVA D. S.; SILVA I. F.; LIMA J. R. S. Produção animal no bioma caatinga: paradigmas dos pulsos-reserva. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3, n. 5, p. 138-155, 2006.
- ASSIS, J. G. A.; OLIVEIRA, A. L. P. C.; RESENDE, S. V.; SENRA, J. F. V.; MACHADO, M. Chromosome numbers in Brazilian Melocactus (Cactaceae). **Bradleya**, v. 2003, n. 21, p. 1-6, 2003.
- BECK, S. L.; DUNLOP, R. W.; FOSSEY, A. Stomatal length and frequency as a measure of ploidy level in black wattle, *Acacia mearnsii* (de Wild). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 141, n. 2, p. 177-181, 2003.
- BRAVO FILHO, E. S.; SANTANA, M. C.; SANTOS, P. A. A.; RIBEIRO, A. S. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v. 12, n. 1, p. 41-53, 2018.
- CARVALHO-NETO, F. G.; SILVA, J. R.; SANTOS, N.; ROHDE, C.; GARCIA, A. C. L.; MONTES, M. A. The heterogeneity of Caatinga biome: an overview of the bat fauna. **Mammalia**, v. 81, n. 3, p. 257-264, 2017.
- CASTRO, J. P.; MEDEIROS NETO, E.; SOUZA, G.; ALVES, L. I. F.; BATISTA, F. R. C.; FELIX, L. P. CMA band variability and physical mapping of 5S and 45S Rdn sites in Brazilian Cactaceae: Pereskioideae and Opuntioideae. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 2, p. 613–620, 2016.
- DUBEUX-JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; CAVALCANTE, M.; SANTOS, D. C. Potencial da palma forrageira na América do Sul. **Cactus Net Newsletter**, v. 13, p. 29-40, 2013.
- GALLEGOS-VÁZQUEZ, C.; CERVANTES-HERRERA, J.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. Manual Gráfico para la descripción varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.). Serviço Nacional de Inspección de Semillas – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SNICS – SAGARPA) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACg). Chapingo, México, 2005, 116p.
- GUERRA, M. 2000. **Chromosome Number Variation and Evolution in Monocots. Monocots: Systematics and Evolution**. CSIRO: Melbourne.

GUERRERO, P.C.; MAJURE, L.C.; CORNEJO-ROMERO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, T. Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the Cactus family. **Journal of Heredity**, v. 110, n. 1, p. 4-21, 2018.

GUTIÉRREZ-FLORES, C.; LUZ, J. L. L. LEÓN, F. J. G. D.; COTA-SÁNCHEZ, J. H. Variation in chromosome number and breeding systems: implications for diversification in *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). **Comparative Cytogenetics**, v. 12, n. 1, p. 61-82, 2018.

GRIFFITH, M. Patrick. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 11, p. 1915-1921, 2004.

HABIBI, Y.; HEUX, L.; MAHROUZ, M.; IGNON, M. R. Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 102-112, 2008.

HOLANDA, A. C.; LIMA, F. T. D.; SILVA, B. M.; DOURADO, R. G.; ALVES, A. R. Estrutura da vegetação em remanescentes de caatinga com diferentes históricos de perturbação em Cajazeirinhas (PB). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 142-150, 2015.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlo: RiMa, 2006, 550p.

LIM, T. K. *Nopalea cochenillifera* In: Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer, Netherlands, 2012, 656-659p.

LIN, M. J.; HSU, B. D. Photosynthetic plasticity of Phalaenopsis in response to diferentes light environments, **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 11, p. 1259-1268, 2004.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DIAS, F. M.; FERRAZ, A. P. F.; SILVAM M. C.; CUNHA, M. V.; MELLO, A. C. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, D. C. **Palma forrageira: cultivo e usos**. Recife: CREA, 2017. 76 p.

MAJURE, L. C.; JUDD, W. S.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E. Cytogeography of the *Humifusa* clade of *Opuntia* sp. Mill. 1754 (Cactaceae, Opuntioideae, Opuntieae): correlations with pleistocene refugia and morphological traits in a polyploid complex. **Comparative Cytogenetics**, v. 6, n. 1, p. 53-77, 2012.

OCHOA, M. J.; GONZÁLEZ-FLORES, L. M.; CRUZ-RUBIO, J. M.; PORTILLO, L.; GÓMEZ-LEYVA, J. F. Effect of substrate and gibberellic acid (GA3) on seed germination in ten cultivars of *Opuntia* sps. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 17, p. 50-60, 2015.

OLSEN, R. T., RANNEY, T. G.; VILORIA, Z. Reproductive behavior of induced allotetraploid Chitalpa and in vitro embryo culture of polyploid progeny. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 6, p. 716-724, 2006.

PASTENES, C.; SANTA-MARIA, E.; INFANTE, R.; FRANCK, N. Domestication of the Chilean guava (*Ugni molinae* Turcz.), a forest understorey shrub, must consider light intensity. **Scientia Horticulturae**, v. 98, n. 1, p. 71-84, 2003.

PEREIRA, E. F. P.; LOPES, P. S. Q. **Palma – Ouro verde do Semiárido**. 1.ed. João Pessoa: SENAR-PB, 2011. 73 p.

PINKAVA, D. J.; PARFITT, B. D.; BAKER, M. A.; WORTHINGTON, R. D. Chromosome numbers in some cacti of western North America. VI. **Madroño**, v. 39, p. 98-113, 1992.

PITREZ, S. R. 123f. **Florística, Fitossociologia e Citogenética de Angiospermas Ocorrentes em Inselbergues**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2006.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documento, 30).

SATTLER, M. C.; CARVALHO, C. R.; CLARINDO, W. R. The polyploidy and its key role in plant breeding. **Planta**, v. 243, n. 2, p. 281-296, 29 fev. 2016.

SEGANTINI, D. M.; TORRES, L. M.; BOLIANI AC, E.; LEONEL, S. Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria-MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 630-636, 2010.

SHAO, J., CHEN, C.; DENG, X. In vitro induction of tetraploid in pomegranate (*Punica granatum*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 75, n. 3, p. 241-246, 2003.

SIMÕES, D. A.; SANTOS, D. C.; DIAS, F. M. Introdução da palma forrageira no Brasil. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 13-26.

SOLTIS, D. E.; VISGER, D. E.; MARCHANT, D. B.; SOLTIS, P. S. Polyploidy: Pitfalls and paths to a paradigm. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 7, p. 1146-1166, 2016.

STEBBINS, G. L. **Chromosomal evolution in higher plants**. E. Arnold, London, 1971

STEVENS, P. F. Angiosperm phylogeny website. 2015.  
<http://www.bot.org/MOBOT/research/APweb>.

TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. C. Cacti of Eastern Brazil. Royal Botanic Gardens. Kew, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TAYLOR, N.; SANTOS, M. R.; LAROCCA, J.; ZAPPI, D. Lista de Espécies da Flora do Brasil-Cactaceae. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015  
<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB70>.

VASCONCELOS, D. A.; MACEDO, A. S. A.; ZIERER, M. S. Número de cromossomos em populações de *Nopalea cochenillifera* (L.) do Município de Floriano/PI, Brasil. In: 2ª reunião brasileira de citogenética. Anais... Águas de Lindóia, 2011.

VICHIATO M. R. M.; VICHIATO, M.; PASQUAL, M.; DE CASTRO, D. M.; DUTRA, L. F. Indução e identificação de tetraploides em *Dendrobium nobile* Lindl. (Orchidaceae). **RevistaCiênciaAgronômica**, v. 38, n. 4, p. 385-390, 2008.

ZHANG, S. P.; HU, H.; XU, K.; LI, Z. R. YANG, Y. P. Flexible and reversible responses to diferente irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cypripedium guttatum*. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n, 5, p. 611-620, 2007.

## CAPÍTULO I

### TROCAS GASOSAS EM CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRAS DOS GÊNEROS *Opuntia* E *Nopalea*

**RESUMO:** A palma forrageira é cultivada no Nordeste do Brasil como objetivo de alimentação dos rebanhos, principalmente em períodos de estiagem. Por ser uma planta adaptada à seca, é uma cultura de ampla aceitação como cultivo de lavoura xerófila. Estudos de trocas gasosas são importantes pois, possibilitam compreender quais mecanismos estão envolvidos na fisiologia da planta frente à sua adaptação aos ecossistemas com baixa disponibilidade de água no ambiente. Neste contexto, objetivou-se avaliar a existência de variação entre e dentro dos gêneros de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) quanto as trocas gasosas. Para tanto, 21 cultivares oriundas do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, pertencentes as espécies *Opuntia ficus-indica*; *O. stricta*; *O. undulata*; *O. atropes*; *Opuntia* sp. e *Nopalea cochenillifera* foram avaliadas. Os cladódios foram cultivados em casa de vegetação na Universidade Federal da Paraíba. A avaliação das trocas gasosas foi realizada no cladódio secundário de 00:00 horas, utilizando o analisador portátil de gás por infravermelho - IRGA. As variáveis mensuradas foram: taxa de assimilação líquida do CO<sub>2</sub>, condutância estomática, concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares, transpiração e temperatura foliar e a partir destas, calculou-se a eficiência instantânea do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação. O Boxplot foi utilizado para avaliar a dispersão dos valores entre os gêneros, em seguida os dados foram submetidos à análise multivariada de componentes principais e de agrupamento, com base nas diferentes cultivares, e posteriormente organizados em dendrograma. Houve variação entre os gêneros e entre as cultivares de palma forrageira para as trocas gasosas. Foi possível a formação de três grupos de cultivares e a separação de dois componentes principais. As cultivares ‘Verdura’ (*Opuntia* sp. \_3) e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1) possuem maior desempenho fotossintético, enquanto ‘IPA Clone 20’ (*O. ficus-indica*\_3) e ‘F21 Sementes’ (*Nopalea*\_1) apresentam menor transpiração. As cultivares ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1); ‘Miúda’ (*Nopalea*\_4) e ‘Copena’ (*O. ficus-indica*\_1), são mais adaptadas as regiões áridas e semiáridas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cactáceas; Fotossíntese; Metabolismo Ácido das Crassuláceas; Semiárido

### GAS EXCHANGES ON FORAGE PALM CULTIVARS OF THE GENERA *Opuntia* and *Nopalea*

**ABSTRACT:** Forage palm is cultivated in the Northeast Region of Brazil for the purpose of feeding herds, especially during dry seasons. As a drought-adapted plant, it is a widely accepted xerophilic crop. Gas exchange studies are important because they make it possible to understand which mechanisms are involved in plant physiology in view of its adaptation to ecosystems with low water availability in the environment. In this context, the objective was to evaluate the existence of variation between and within genera of forage palm (*Opuntia* and *Nopalea*) regarding gas exchange. To this end, 21 cultivars from the Pernambuco Agronomic Institute - IPA, belonging to the species *Opuntia ficus-indica*, *O. stricta*, *O. undulata*, *O. atropes*, *Opuntia* sp. and *Nopalea cochenillifera* were

evaluated. The cladodes were grown in a greenhouse at the Federal University of Paraíba. Gas exchange was evaluated in the secondary cladode at 00:00 hour using a portable infrared gas analyzer - IRGA. The measured variables were: CO<sub>2</sub> net assimilation rate, stomatal conductance, CO<sub>2</sub> concentration in intercellular space, transpiration and leaf temperature and from these were calculated the instantaneous water use efficiency, intrinsic water use efficiency and instantaneous efficiency of carboxylation. Boxplot was used to evaluate the dispersion of values between genera, and the data were submitted to multivariate analysis of principal components and cluster, based on the different cultivars, and later organized in a dendrogram. There was variation between genera and forage palm cultivars for gas exchange. It was possible to form three groups of cultivars and to separate two main components. The cultivars 'Verdura' (*Opuntia* sp. \_3) and 'Orelha de Elefante Mexicana' (*O. stricta*\_1) have higher photosynthetic performance, while 'IPA Clone 20' (*O. ficus-indica*\_3) and 'F21 Sementes' (*Nopalea*\_1) present small transpiration rate. The cultivars 'Orelha de Elefante Mexicana' (*O. stricta*\_1); 'Miúda' (*Nopalea*\_4) and 'Copena' (*O. ficus-indica*\_1) are more adapted to arid and semiarid regions.

**KEYWORDS:** Cacti; Crassulacean Acid Metabolism; Photosynthesis; Semiarid

## 1. INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas a disponibilidade de água é fator limitante ao desenvolvimento e crescimento das plantas. Essas regiões são caracterizadas por elevadas temperaturas, precipitações pluvial irregulares, solos em sua maioria rasos, com baixa capacidade de armazenamento de água e baixa fertilidade natural (ALVES et al., 2017), dificultando o estabelecimento das plantas, no entanto, as cactáceas em geral, são caracterizadas pela alta eficiência de uso da água, podendo ocorrer numa ampla diversidade de clima, mas predominantemente em ambientes do semiáridos (BRAVO FILHO et al., 2018). Dentre as cactáceas, a palma forrageira desenvolveu estratégias de adaptação para sobreviver nesses ambientes através de mudanças anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, que permitem absorver água da chuva, por menor que seja a intensidade, além de manter o turgor celular através da mínima da perda de água (OLIVEIRA et al., 2010).

As adaptações anatômicas presentes na palma forrageira são cutículas espessas, que evitam a perda de água pela transpiração, e ajudam na manutenção da umidade atmosférica através da superfície do caule. Os cladódios são espessos e suculentos, e armazenam grandes quantidades de água e carboidratos, que servirão para passar o período de déficit hídrico. Os estômatos estão em número reduzido e possuem pequenas aberturas, próximas às superfícies inferiores e superiores dos cladódios. Os arranjos entre

as células do mesófilo são próximos, evitando a perda de CO<sub>2</sub> e água durante o dia (SCHEINVAR, 2012).

Dentre as adaptações morfológicas destacam-se à presença de raízes ramificadas, podendo alcançar vários metros de comprimento, dispostas próximas a superfície do solo para absorver água de chuvas leves e até do orvalho da noite, através das suas regiões pilíferas. Além disso, as raízes são cobertas com uma camada relativamente impermeável à água, para evitar a perda de água em solo seco (SCHEINVAR, 2012).

Quanto às adaptações fisiológicas está à abertura dos estômatos pelas plantas à noite para fixação do CO<sub>2</sub>, evitando perda excessiva de água durante sua transpiração. Como a noite, a temperatura é mais amena faz com que se reduzam as diferenças entre o teor de vapor de água entre os cladódios e o ar que os rodeiam, evitando perda de água no processo de fixação de CO<sub>2</sub>, uma vez que pela mesma cavidade que é absorvido o CO<sub>2</sub> ocorre transpiração e perda de água pela planta (TAIZ et al., 2017).

As adaptações bioquímicas estão relacionadas à produção e ao acúmulo de metabólitos primários e secundários, tais como os alcaloides e compostos nitrogenados, que contribuem para manter o turgor, estabilizar proteínas e membranas celulares de plantas expostas ao déficit hídrico, salinidade e temperaturas elevadas, fatores de estresse que plantas das regiões semiáridas estão sujeitas (RAMAKRISHNA; RAVISHANKAR, 2011; BARTWAL et al., 2013; RODZIEWICZ et al., 2014).

No Brasil, aproximadamente 500.000 ha são cultivados com palma forrageira, principalmente com as espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. As cultivares dentro de cada gênero apresentam diferenças agrônômicas, relativas a produtividade, número de cladódio por planta. A palma gigante (*Opuntia*) é tida como a mais produtiva e mais resistente às regiões secas, porém é menos palatável e apresenta menor valor nutricional. Possuem porte bem desenvolvido e caule menos ramificado, conferindo um aspecto mais ereto e o seu crescimento vertical é pouco frondoso. O cladódio pesa em torno de 1 kg, podendo chegar até 50 cm de comprimento. A palma doce, também conhecida como miúda (*Nopalea*) possui porte pequeno, cladódio pesando cerca de 350 g e mede aproximadamente 25 cm de comprimento. Mesmo tendo essas características inferiores em relação a gigante é a mais nutritiva e apreciada pelos animais, porém apresenta uma menor resistência à seca (SANTOS et al., 2013).

Essas plantas são utilizadas para diversos fins, como produção de energia, medicina popular, produção de cosméticos, indústria química e alimentícia, produção de corante de carmim, cercas vivas, paisagismo, controle da erosão e conservação do solo.

Mesmo com todas essas utilidades, no Brasil a palma forrageira é muito difundida e utilizada como forragem na alimentação animal, principalmente na época seca (ALVES et al., 2016).

Estudos sobre trocas gasosas são importantes na determinação da adaptação e estabilidade de plantas aos determinados ecossistemas. Isto porque a redução no crescimento e na produtividade da cultura pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (ANJOS et al., 2014).

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a existência de variação entre e dentro dos gêneros de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) quanto as trocas gasosas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Centro de Ciências Agrárias – CCA. A coleta dos cladódios foi realizada em abril de 2017 na Estação Experimental de Arcoverde, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizado no município de Arcoverde-PE (8°25'S; 37°05' W), altitude 680,70 m, temperatura média anual  $22,90 \pm 1,68$  °C, umidade relativa do ar média anual  $69,60 \pm 5,30\%$ , velocidade do vento (média anual  $3,92 \pm 0,48$  m s<sup>-1</sup>), evaporação acumulada (média 1700,40 mm), precipitação acumulada média anual de 798,1 mm, microrregião do sertão do Moxotó (INMET, 2015).

Após a coleta, os cladódios ficaram por 10 dias em ambiente sombreado, afim de perder parte da água e cicatrização da área cortada, em seguida foram plantados em casa de vegetação, em recipientes com capacidade de 12 kg. O solo utilizado como substrato no cultivo dos cladódios é classificado como neossolo regolítico e foi oriundo da fazenda experimental Olho D'água, pertencente ao CCA, Chã de Jardim, PB (06°57'30" S, 35°45'33,8" W, altitude de 503 m). Antes da coleta do solo, foi retirada uma amostra composta da camada superficial (0 - 20 cm) e encaminhada para o laboratório de análise de solo para a realização de análise química (Tabela 1). Em seguida, o solo foi distribuído nos recipientes e realizado o plantio dos cladódios.



**Tabela 1.** Resultado da análise química do material de solo utilizado para plantio dos cladódios, na camada de 0-20 cm de profundidade. Areia, PB, UFPB, 2019

Atributos Químicos										
pH	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	M.O
	mg.dm <sup>-3</sup>	-----				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----			g.kg <sup>-1</sup>
5,7	41,14	0,15	0,05	1,69	0,96	0,00	1,14	2,85	3,99	14,78

O substrato foi umedecido para elevar a umidade do solo a 60% do nível correspondente à capacidade de campo, para isso pesaram-se duas amostras de 500 g do solo previamente seco em estufa de circulação forçada de ar, e sobre um papel filtro foram adicionados 200 mL de água. Decorridos aproximadamente 15 minutos, o excesso de água foi drenado (50 mL), ficando retido no substrato 150 mL. Por regra de três e pela quantidade de substrato que comporta o recipiente (12.000 g) foi possível calcular a quantidade de água retida no substrato, 3600 mL, representando 100% do nível correspondente ao da capacidade de campo. Por diferença foi calculada 60% da capacidade de campo (2160 mL) que correspondeu à quantidade de água adicionada à 12.000 g de solo. Para a manutenção da capacidade de campo, oito vasos foram pesados antes de efetuar a irrigação, verificando-se, assim, a quantidade de água necessária para atingir 60% da capacidade de campo. O controle da Cochonilha de carmim (*Dactylopius opuntiae*) e da Cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti*) foi realizado, de forma manual, usando água e bucha vegetal.

As trocas gasosas foram avaliadas no cladódio secundário de cultivares de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* (*O. ficus-indica*, *O. stricta*, *O. undulata*, *O. atropes* e *Opuntia* sp.) e *Nopalea cochenillifera* (Tabela 2).

**Tabela 2.** Relação das cultivares de palma forrageira utilizadas na análise de trocas gasosas

Espécie	Cultivar	Identificação
<i>O. ficus-indica</i>	‘Copena’	1
	‘Redonda’	2
	‘IPA Clone 20’	3
	‘IPA 98/T26’	4
	‘IPA 98/T51’	5
	‘IPA 98/T23’	6
<i>O. stricta</i>	‘Orelha de Elefante Mexicana’	1
	‘Orelha de Elefante Mexicana – Lisa’	2
	‘Orelha de Elefante Mexicana – Espinho’	3
<i>O. undulata</i>	‘Orelha de Elefante Africana – Clone 9’	1
	‘Orelha de Elefante Africana’	2
<i>O. atropes</i>	‘F24’	1
	‘F8’	2
<i>Opuntia</i> sp.	‘Algerian’	1
	‘ChillyFruit’	2
	‘Verdura 23’	3
<i>Nopalea cochenillifera</i>	‘F21 Sementes’	1
	‘IPA – Sertânia’	2
	‘F1 Cultura de Tecido – 6’	3
	‘Miúda’	4
	‘F1 Cultura de Tecido – 13’	5

A avaliação foi realizada de 00:00 horas (ALVES et al., 2018) com uso de um analisador portátil de gás por infravermelho - IRGA (modelo LI-6400XT, LI-COR®, Nebraska, USA) com fluxo de ar de 300 mL min<sup>-1</sup> e fonte de luz acoplada de 1200 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Mensuraram-se as variáveis: taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) (µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (gs) (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares (Ci) (µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (E) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e temperatura foliar (Temp) (°C) e a partir destas, calcularam-se a eficiência instantânea de uso da água (EUA: A/E), eficiência intrínseca de uso da água (EiUA: A/gs) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC: A/Ci).

A análise estatística foi realizada através do Boxplot (software R-Studio versão 3.5.2.), para avaliar a dispersão entre os gêneros, em seguida os dados foram submetidos às análises multivariadas de componentes principais (ACP) e de agrupamento, com base nos grupos das cultivares (MINGOTI, 2005; HUSSON et al., 2010). O critério utilizado para classificar a variável nos componentes foi baseado na relação  $0,5(\lambda^{-0,5})$ , sendo  $\lambda$  o

autovalor do componente (OVALLES; COLLINS, 1988). Posteriormente foi elaborado um dendrograma para fazer a separação por cultivar, estando os valores do maior para o menor, obedecendo a sequência (Vermelho/laranja/gelo).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do Boxplot para a condutância estomática -  $g_s$ , mostra cultivares de ambos os gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) com valores afastados das demais (Figura 1A). Em *Opuntia* foram quatro cultivares com valores discrepantes, dois superiores e dois inferiores, ou seja, duas cultivares possuem baixa e duas alta condutância estomática (Figura 1A). Quatro cultivares de *Opuntia* estão dentro do terceiro quartil (Q3), também chamado de quartil superior, ou seja, cultivares onde se localizam  $\frac{3}{4}$  ou 75% dos valores maiores.

Quanto a avaliação da assimilação líquida de  $CO_2$ , - A, a maior amplitude dos dados foi observada no gênero *Opuntia* (Figura 1B). Quatro das 16 cultivares se enquadraram no Quartil inferior (Q1), significando que 25% das cultivares estão abaixo desse valor, comprovado pelas quatro cultivares no limite inferior (Li). O quartil superior (Q3) também contém quatro cultivares, ou seja, 25% das cultivares estão acima desse valor, estando no limite superior (Ls), ou seja, cultivares com elevada taxa fotossintética.

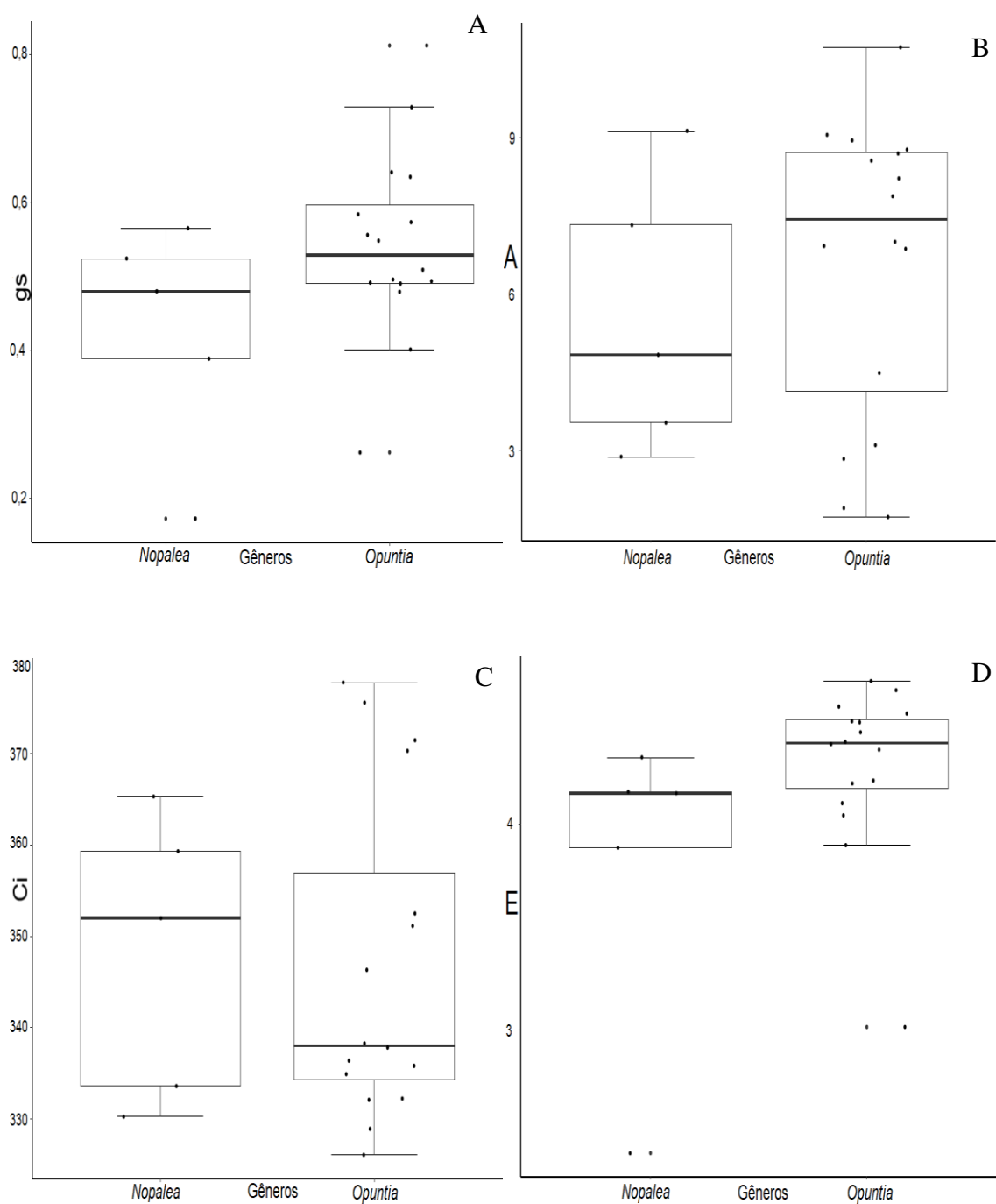
Com relação a concentração intercelular de  $CO_2$  -  $C_i$ , nota-se em ambos os gêneros, apenas uma cultivar inserida no quartil secundário (Q2), ou seja, em cima da linha mediana, mostrando 50% das cultivares localizadas abaixo desse valor (Figura 1C). Em *Opuntia*, desses 50%, 25% estão no Q1 e os 25% restantes, no limite inferior. Representada por cultivares com baixa concentração intercelular de  $CO_2$ , essas cultivares podem ser as mesmas com baixa condutância estomática, pois redução nesta variável pode limitar a taxa de retenção de  $CO_2$  e, conseqüentemente, a concentração de  $C_i$  diminui nos espaços intercelulares devido ao consumo de dióxido de carbono pela atividade fotossintética (DALASTRA et al., 2014).

Com relação a transpiração - E, observa-se, em ambos os gêneros, a ocorrência de cultivares localizadas abaixo do limite inferior, e, portanto, fora da tendência dos demais (*outliers*), ou seja, cultivares que possuem baixa taxa de transpiração (Figura 1D). Outra particularidade entre os gêneros, para a variável em questão, são duas cultivares sob a linha mediana, e, ainda, 50% das cultivares acima dessas.

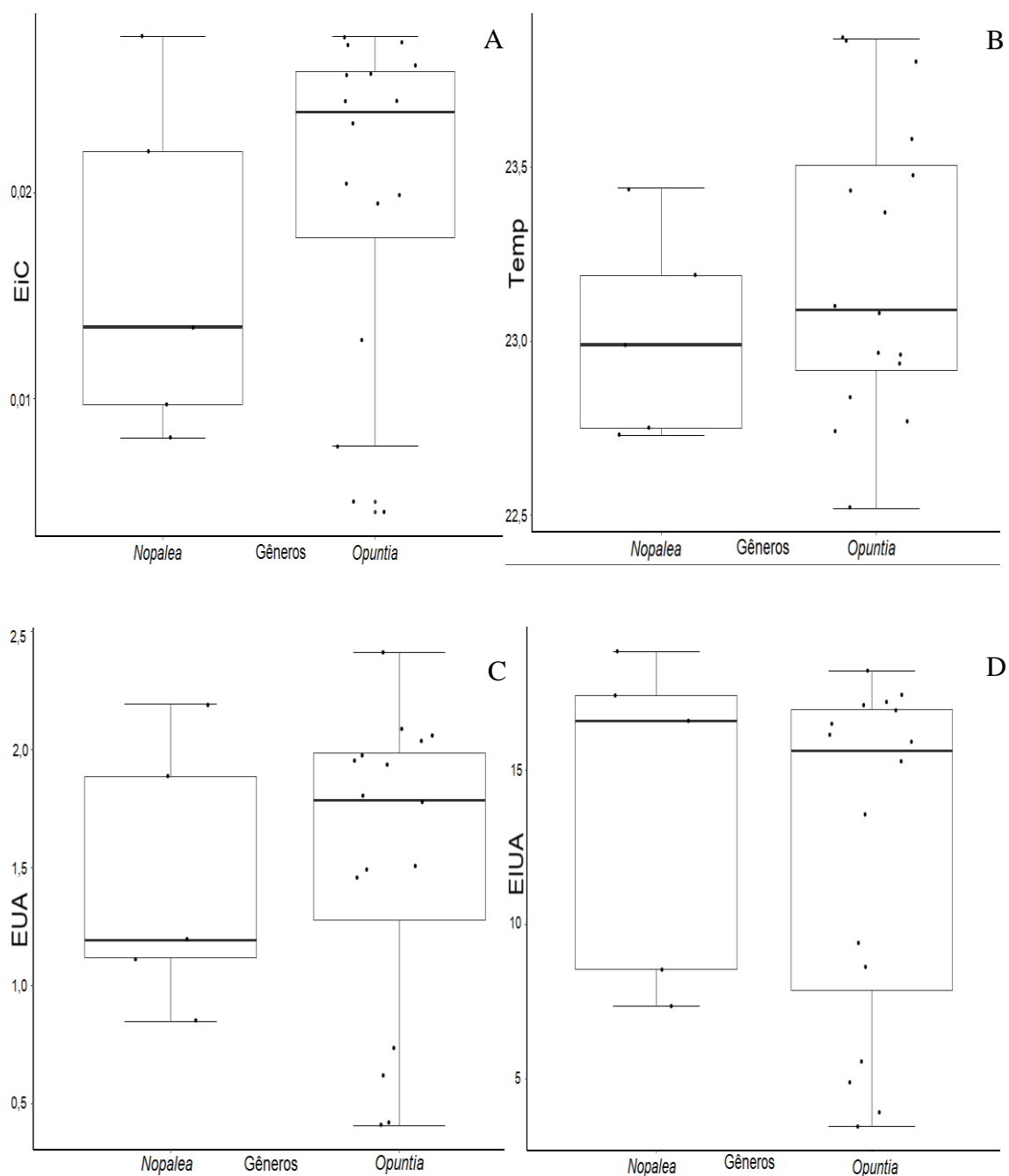
Para a eficiência instantânea de carboxilação – EiC, a amplitude dos dados não variou entre os gêneros, porém somente em *Opuntia* houve cultivares com valores díspares, sendo quatro cultivares abaixo do limite inferior. Somente em *Nopalea* houve cultivar com valor em cima da mediana (Figura 2A). A associação de elevados valores de concentração interna de CO<sub>2</sub>, com aumento na condutância estomática pode indicar um acréscimo na eficiência instantânea de carboxilação, em função da disponibilidade de ATP e NADPH (SILVA et al., 2015).

No gênero *Opuntia* quatro cultivares detém valor de temperatura superior a 23,5° C, são as localizadas no limite superior (Figura 2B), por outro lado nenhuma cultivar de *Nopalea* se localizou acima do Quartil superior (Q3), ou seja, todas as cultivares do gênero *Nopalea* possuem temperatura variando de 22,8 a 23,5° C.

Quanto a eficiência instantânea do uso da água – EUA, o gênero *Opuntia* apresentou uma maior amplitude nos dados (Figura 2C), sendo quatro cultivares com baixa eficiência (valores no limite inferior), e quatro com alta eficiência (limite superior), ficando as demais nos Quartis inferior (Q1) e superior (Q3). Em *Nopalea* somente uma cultivar se localizou no limite superior, possuindo, assim, alta eficiência no uso da água. No que se refere a eficiência intrínseca do uso da água – EiUA o comportamento foi semelhante ao observado na eficiência instantânea (Figura 2D).



**Figura 1.** Boxplot da dispersão dos valores referentes a: A, condutância estomática –  $g_s$  – ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); B, assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  –  $A$  – ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); C, concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$  – ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e D, transpiração –  $E$  – ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*



**Figura 2.** Boxplot da dispersão dos valores referentes a: A, eficiência instantânea de carboxilação – EiC – (A/Ci); B, temperatura foliar – Temp (°C); C, eficiência instantânea do uso da água – EUA – (A/E) e D, eficiência intrínseca do uso da água – EIUA (A/g<sub>s</sub>) em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

A análise de componentes principais com os escores e autovetores foi utilizada para diferenciar as espécies/cultivares e apontar as variáveis mais preponderantes deste estudo. Dessa forma, com relação ao ensaio de trocas gasosas de cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, foram necessários dois

componentes para explicar, satisfatoriamente, a variabilidade entre as espécies/cultivares, sendo responsáveis por 85,07% da variação acumulada sobre as trocas gasosas de cultivares de palma forrageira, pertencentes aos dois gêneros acima citados. Com este mesmo raciocínio, Rencher e Christensen (2012) evidencia que aproximadamente 70% da variância total deve ser explicada pelos primeiros componentes principais. No presente estudo, o componente principal 1 (CP1) foi responsável por 56,45% e o CP2 por 28,62% das variações dos dados (Tabela 3).

Com o intuito de entender a importância de cada variável na construção dos dois componentes principais foram calculados os autovetores, sendo considerados relevantes, valores iguais ou superiores a 0,2352 e 0,3304 dos componentes 1 e 2 respectivamente.

**Tabela 3.** Matriz de autovalores e autovetores de dois componentes principais (CP) das variáveis relacionadas a trocas gasosas em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Autovalor (l)	4,52	2,29
Variância explicada (%)	56,45	28,62
Variância acumulada (%)	56,45	85,07
	<b>Autovetores<sup>1</sup></b>	
Temp	-0,0231	0,2562
EUA	<b>0,4667</b>	-0,0492
Gs	0,0692	<b>0,6048</b>
A	<b>0,4593</b>	0,1257
EIUA	<b>0,4044</b>	-0,0318
EiC	<b>0,4298</b>	0,1440
Ci	<b>-0,4618</b>	0,1002
E	0,0651	<b>0,6710</b>

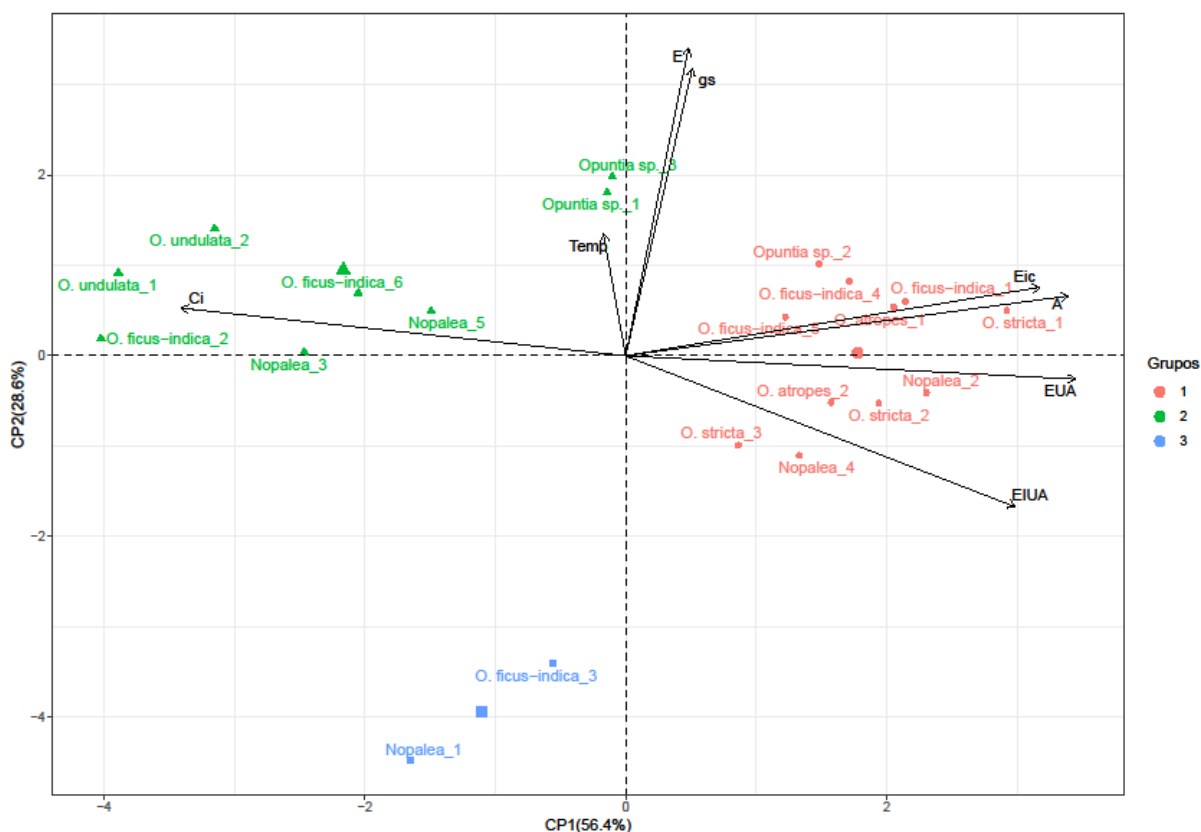
<sup>1</sup>Variáveis representativas do componente baseadas no módulo da relação  $0,5(\lambda^{-0,5})$ , destacada em negrito (OVALLES; COLLINS, 1988).

As variáveis Eficiência no uso da água (EUA), Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e Concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci), tiveram poder discriminatório para o componente principal 1 (Tabela 3).

Na análise dos componentes principais (CPA), as 21 cultivares de palma forrageira se agruparam em três grupos distintos (Figura 3), sendo 16 delas representadas pelo gênero *Opuntia* sp. e as cinco restantes, por *Nopalea*. O grupo 1 (vermelho) é

representado pelas cultivares que possuem maior: Eficiência instantânea de carboxilação – EiC; Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> – A; Eficiência instantânea do uso da água – EUA e Eficiência intrínseca do uso da água –EIUA. O mesmo foi composto por 11 cultivares, sendo uma pertencente a *Opuntia* sp. ('Algerian'); duas *O. atropes* \_1 e \_2 ('F24' e 'F8'); e três para *O. ficus-indica* (\_1 'Copena'; \_4 'IPA 98/T26' e \_5 'IPA 98/T51'). Todas as cultivares de *O. stricta* se enquadraram no grupo em questão (\_1 'Orelha de Elefante Mexicana', \_2 'Orelha de Elefante Mexicana – Lisa' e \_3 'Orelha de Elefante Mexicana – Espinho'). Com relação a *Nopalea*, a mesma foi representada por duas cultivares \_2 e \_4 ('IPA Sertânia' e 'Miúda'), destacando-se a IPA Sertânia por estar mais próxima da variável EUA, juntamente com *O. atropes* e *O. stricta*. Assim, verifica-se que as cultivares dos dois gêneros respondem de forma diferenciada aos ensaios envolvendo à EiC e A, em relação à EUA e EUiA, os quais são perfeitamente separados no eixo 2 (Componente 2) que explica 28,6% da variância. No entanto, observa-se pelo componente 1, com 56,4%, alto escore para as variáveis estudadas, demonstrando, pela complexidade de se pesquisar as cactáceas, a importância de se utilizar mais de um teste fisiológico, no tocante as trocas gasosas.



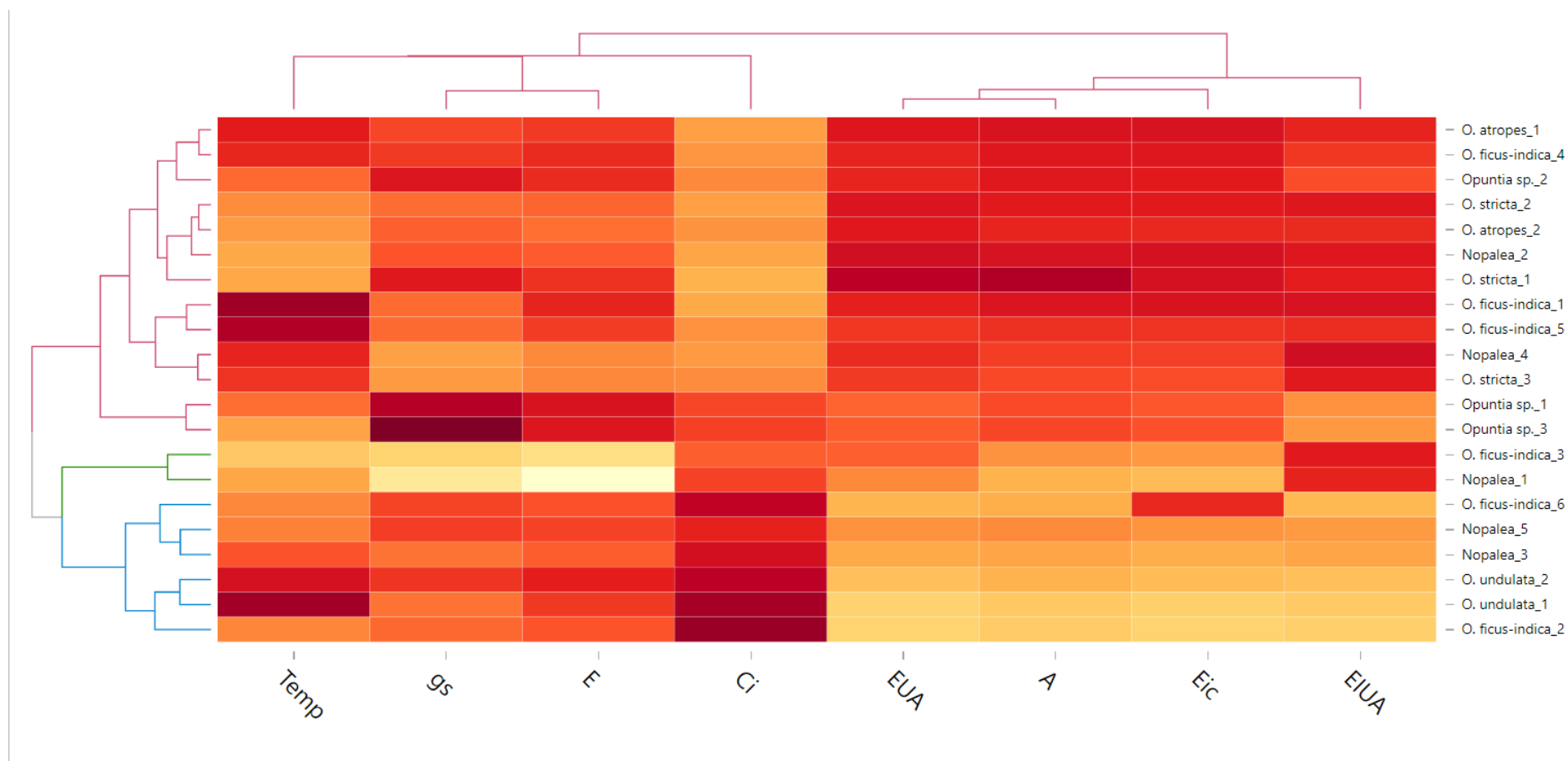


**Figura 3.** Dispersão das variáveis de trocas gasosas em cultivares de palma forrageira, pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Concentração Intercelular de CO<sub>2</sub> – Ci; Temperatura Foliar – Temp; Taxa de Transpiração – E; Condutância Estomática – gs; Eficiência Instantânea de Carboxilação – EiC; Assimilação Líquida CO<sub>2</sub> – A; Eficiência Instantânea do uso da Água – EUA e eficiência intrínseca do uso da água –EIUA

O segundo grupo (verde) é constituído por oito cultivares, sendo seis possuidoras de maior concentração intercelular de CO<sub>2</sub> – Ci e duas com maior taxa de transpiração – E e condutância estomática – gs. Dentre as cultivares que detiveram as maiores concentrações de Ci, destacam-se: duas cultivares de *Nopalea* (\_3 e \_5) ‘F1 Cultura de Tecido – 6’ e ‘F1 Cultura de Tecido – 13’ e, ainda, duas cultivares de *O. ficus-indica* \_2 e \_6 (‘Redonda’ e ‘IPA 98/T23’), e duas cultivares de *O. undulata* \_1 e \_2 (‘Orelha de Elefante Africana – Clone 9’ e ‘Orelha de Elefante Africana’). Ainda no segundo grupo, as duas cultivares que obtiveram maiores E e gs são da espécie *Opuntia* sp. \_1 e \_3 (‘Algerian’ e ‘Verdura’). E, com relação ao grupo três, este é representado por uma cultivar de *O. ficus-indica* \_3 (‘IPA Clone 20’) e uma de *Nopalea*\_1 (‘F21 Sementes’). Essas cultivares apresentam similaridade entre elas, conforme se comprova pela separação dos demais grupos, baixa E e gs. O número reduzido de cultivares com baixos ou elevados valores de E e gs pode ocorrer em virtude das duas variáveis não fazerem

parte do CP1, visto que as variáveis presentes no primeiro componente também são definidas como as de maior importância, por deterem maior parte da variação total encontrada nos dados originais. Por outro lado, os últimos componentes principais serão responsáveis por variáveis que não estão associadas a maior variabilidade (HONGYU et al., 2015). Foi o que aconteceu com a variável temperatura dos cladódios, que não se enquadrou em nenhum dos componentes principais, estando a mesma, não associada a variabilidade existente entre as cultivares, sendo, assim, possível a sua eliminação (STRAPASSON et al., 2000).

No tocante as trocas gasosas, a diferenciação das cultivares em grupos, é de grande importância para o melhoramento genético de palma forrageira, oportunizando ao melhorista conhecer as características fotossintéticas de cada material utilizado, visto que a produtividade pode estar intimamente ligada a essas variáveis. Dessa forma, a separação das cultivares em grupos, destaca aquelas com maiores ou menores valores das características avaliadas, sendo, no entanto, importante saber entre as cultivares qual/is se destacam em cada variável, neste caso representada pelo dendrograma (Figura 4), onde os valores vão do maior ao menor com base na coloração (vermelho/laranja/gelo).



**Figura 4.** Dendrograma de dispersão das cultivares de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Temp - Temperatura foliar; gs - Condutância estomática; E - Transpiração, Ci - Concentração intercelular de CO<sub>2</sub>; EUA - Eficiência instantânea do uso da Água; A - Assimilação líquida CO<sub>2</sub>; EiC - Eficiência instantânea de carboxilação e EIUA - Eficiência intrínseca do uso da água

Na análise das trocas gasosas em palma forrageira, nota-se variação entre as cultivares em todas as variáveis estudadas (Figura 4). Tal distinção é comum em cactáceas devido as diferenças existentes na biometria das plantas, a exemplo de largura, espessura do cladódio, espessura da cutícula, como também diferença genética. Rosa-Manzano et al. (2016) avaliando aspectos da fotossíntese em três espécies de cactos (*Turbinicarpus schmidickeanus*, *Mammillaria zephyranthoides* e *Echinocactus platyacanthus*) também constatarem variabilidade entre elas. No que se refere a temperatura foliar, conforme foi observado na análise de CP (Figura 5) houve pouca variação ente as cultivares, ficando entre 22,5 a 23,8° C.

A condutância estomática (gs), diferiu entre as cultivares com valores variando de 0,1728 a 0,8120 (mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), em *Nopalea* \_1 ('F21 Sementes') e *Opuntia* sp.\_3 ('Verdura'), ou seja, cultivares sob as mesmas condições ambientais detiveram variação. Tais resultados corroboram com os de Campelo et al. (2015) ao avaliarem as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica do fotossistema II em plantas adultas de Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium*), Guanandi (*Calophyllum brasiliens*), Ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*), Ipê-rosa (*Handroanthus impetiginosa*), Marupá (*Simarouba amara*) e Mogno (*Swietenia macrophylla*), observaram variação para a condutância estomática entre as espécies, embora estivessem expostas as mesmas condições. No citado trabalho verifica-se espécies de mesmo gênero (*Handroanthus serratifolius* e *H. impetiginosa*) com valores distintos de condutância estomática (0,09 e 0,4 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Existe uma correlação direta entre a condutância estomática e a fotossíntese (LIMA et al., 2003), ou seja, a condutância estomática reduz à medida que ocorre o fechamento dos estômatos. No presente estudo, essa relação fica evidente no gênero *Nopalea* (*Nopalea*\_1) cultivar 'F21 Sementes' e em *O. ficus-indica* \_3 ('IPA Clone 20') ao passo que detiveram baixa condutância estomática (0,1728 e 0,2324 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), que ocasionou uma redução na fotossíntese (2,8684 e 4,4851 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), em função dos estômatos não estarem totalmente abertos.

Esse fato pode ocorrer devido a vários fatores, intrínsecos a espécie e/ou ambientais, interagindo de forma complexa, que podem atuar em sentidos opostos. Por exemplo em ambientes quentes e secos, baixa concentração de CO<sub>2</sub> e alta irradiância estimulam diretamente a abertura dos estômatos, enquanto a baixa umidade e a transpiração excessiva causam o fechamento dos estômatos (COSTA; MARRENCO, 2007).

O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos é uma característica marcante das espécies CAM. Durante a noite, ocorre a abertura dos estômatos para a fixação do CO<sub>2</sub> em fosfoenolpiruvato para formar o oxaloacetato, que é armazenando sob a forma de ácido málico; sofre reações durante o dia, resultando em moléculas de glicose. Dessa forma, o fechamento dos estômatos durante o dia, evita a perda de água por transpiração, característica de adaptação de grande importância para a sobrevivência em ambientes áridos e semiáridos (TAIZ et al., 2017). Porém, limitações estomáticas levam a redução da difusão de CO<sub>2</sub>, proporcionando, assim, diminuição na taxa de fotossíntese líquida (HUSSAIN et al., 2012).

Pela intensidade das cores (Figura 4), percebe-se pouca variação na taxa de transpiração (E), sendo os menores valores observados nas cultivares ‘F21 Sementes’ (*Nopalea\_1*) e ‘IPA Clone 20’ (*O. ficus-indica\_3*), com taxas de 2,40 e 3,01 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Tais resultados podem se caracterizar como uma estratégia de regulação de água em ambientes com condições hídricas restritas, por deter menor transpiração, ou seja, menor perda de água para o meio, fato que pode ser constatado para a cultivar ‘IPA Clone 20’, por apresentar adaptação à seca (Dados ainda não publicados) e também constatado por Lina e Eloisa (2018), ao avaliarem três espécies de cactos (*Acanthocereus tetragonus*, *Melocactus curvispinus* e *Stenocereus griseus*) na floresta tropical seca na Colômbia, verificaram que as espécies com menor transpiração sobreviveram por maior tempo em ambientes secos. Esse comportamento pode ter ocorrido em função das mesmas possuírem uma maior limitação estomática, algo que influencia diretamente na troca de gases da planta com o meio externo. Pesquisas desenvolvidas por Huber et al. (2018) em plantas de *Carnegieia gigantea* e *Pachycereus pringlei*, concluíram que o aumento da condutância estomática proporcionou acréscimos na taxa de transpiração.

Quanto a concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), os valores elevados (375,4820; 371,3704; 377,6440 e 370,2825 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), observados nas cultivares ‘Orelha de Elefante Africana – Clone 9’ (*O. undulata\_1*); ‘Orelha de Elefante Africana’ (*O. undulata\_2*) e *O. ficus-indica\_2* e *\_6* (‘Redonda’ ‘IPA 98/T23’) pode ser justificado por elas apresentarem baixa taxa fotossintética (1,8846; 2,8427; 1,7149 e 3,0943 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), respectivamente, onde uma menor quantidade de CO<sub>2</sub> está sendo fixada na etapa de carboxilação. Corroborando com essa afirmação, Dalastra et al. (2014) descrevem que a concentração intercelular de CO<sub>2</sub> diminui devido ao consumo do carbono pelo processo fotossintético. É possível observar dentro de uma mesma espécie, a existência de

cultivares com valores distintos na concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, por exemplo em *O. ficus-indica*, enquanto a cultivar ‘Redonda’ (*O. ficus-indica\_2*), detém um maior valor (377,6740 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a ‘Copena’ (*O. ficus-indica\_1*) um menor valor (328,9166 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Tal variação também é constatada em outras culturas, a exemplo de pesquisas conduzidas por Machado et al. (2005), ao avaliarem as respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais, observaram que a variedade *Citrus reticulata* possuía maior concentração de CO<sub>2</sub>, em comparação às variedades *Citrus sinensis* e *Citrus latifolia*, quando expostas as mesmas condições ambientais.

A maior eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi observada na cultivar *O. stricta\_1* pertencente a ‘Orelha de Elefante Mexicana’, detendo 2,4134 calculado pela (A/E). Com relação a essa cultivar, associada a vantagem da eficiência do uso da água, está o fato de deter elevada produtividade, apresentando produção em massa verde (163,0 t MV ha) em comparação a cultivar ‘IPA Sertânia’ (124,3 t MV ha) (SILVA et al., 2014), outra vantagem é sua resistência a seca (Dados ainda não publicados). Tais resultados podem ocorrer por conta do mecanismo fotossintético da palma forrageira proporcionar elevada eficiência no uso da água, em relação aos demais mecanismos fotossintéticos (SNYMAN, 2013). Para Tatagiba et al. (2014), outro fator que influencia diretamente é a menor condutância estomática, reduzindo a transpiração e proporcionando baixa perda de água.

Por outro lado, quem deteve uma menor eficiência no uso da água, foram as cultivares pertencentes a *O. ficus-indica\_2* e *O. undulata\_1* (‘Redonda’ – 0,4085 e ‘Orelha de Elefante Africana – Clone 9’ – 0,4283). A eficiência intrínseca do uso da água está relacionada com a quantidade de carbono que a planta fixa por unidade de condutância estomática. Em outras culturas também é comum a variação entre e dentro da espécie, conforme resultados observados por Dutra et al. (2015), ao analisarem os genótipos (BRS Guariba, BR17 Gurguéia e BRS Marataoã) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) concluíram a existência de variação frente a eficiência do uso da água.

A maior taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) foi observada na cultivar ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta\_1* com 10,7330 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), onde se constata variação dentro da mesma espécie (Figura 4). Esse comportamento fotossintético pode estar relacionado tanto com a condutância estomática, quanto aos fatores não estomáticos, tendo como exemplo, a falta de ATP e NADPH oriundos da cadeia transportadora de elétrons do Fotossistema II (SILVA et al., 2014); assim como fatores internos, estruturas da folha, teor de pigmento, grau de hidratação (KERBAUY, 2004).

A variação existente entre as cultivares pode ser em função do gênero, da espécie e condições de cultivo. Pesquisas desenvolvidas por Cajazeira et al. (2018) ao avaliarem as trocas gasosas em plantas de pitia branca (*Hylocereus undatus*), sob influência do potássio e cálcio, obtiveram valores variando de 15 a 18,81  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . No geral, as cactáceas possuem maior eficiência no uso da água em relação às plantas C3, permitindo, dessa forma, a continuidade da fotossíntese em épocas de escassez hídrica, tornando-as capazes de completar seu ciclo de desenvolvimento (HOPKINS; HÜNER, 2009). A capacidade fotossintética das plantas de acordo com Marengo et al. (2014) pode ser influenciada por fatores externos (disponibilidade de água e nutrientes, temperatura, irradiância e concentração de  $\text{CO}_2$ ) e internos (cargas genéticas da espécie, espessura da lâmina foliar, teor de clorofila, idade da folha, posição da folha na planta).

A baixa Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) constatada nas cultivares *O. ficus-indica\_2* ('Redonda' - 0,0272) e *O. undulata\_1* ('Orelha de Elefante Africana – Clone 9' – 0,0050), provavelmente tenha ocorrido em função da redução na atividade da Rubisco, considerando que a eficiência de carboxilação representa uma estimativa da atividade dessa enzima. Tal resposta pode acontecer devido reduções na taxa fotossintética, e conseqüentemente a uma baixa disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para Rubisco (SILVA et al., 2015).

O conhecimento sobre a eficiência de uso da água pelas culturas constitui-se de fundamental importância, no tocante a economia de água, em regiões áridas e semiáridas, tendo em vista a escassez de disponibilidade dos recursos hídricos (ROMERO; BOTÍA, 2006). No que se refere a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) a cultivar *Nopalea\_4* ('Miúda') detém maior valor (18,8302), seguido da *O. ficus-indica\_1* ('Copena') com 18,2063. A eficiência intrínseca do uso da água refere-se a relação direta da assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  e a condutância estomática; assim, para evitar desidratação excessiva a planta fecha os estômatos, fisiologicamente pode ser identificada como redução na condutância estomática (TAIZ et al., 2017). Vários fatores podem afetar o consumo de água pelas plantas, e assim sua eficiência, tais como a espécie; fenologia da planta; características do solo e as condições climáticas.

#### 4. CONCLUSÕES

Independente dos gêneros avaliados (*Nopalea* e *Opuntia*) não há um padrão de resposta de trocas gasosas entre as cultivares avaliadas, sendo, no entanto, possível enquadrá-las em três grupos de comportamento fisiológicos semelhantes;

As variáveis analisadas indicam que há dois componentes principais, sendo o primeiro representado pelas variáveis: eficiência do uso da água; assimilação líquida de CO<sub>2</sub>; eficiência intrínseca do uso da água; eficiência instantânea de carboxilação; concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares; e o segundo, representado pela condutância estomática e transpiração, entretanto a temperatura foliar não se enquadra em nenhum dos componentes;

As cultivares ‘Verdura’ (*Opuntia* sp. \_3) e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1) se destacam quanto ao desempenho fotossintético, enquanto ‘IPA Clone 20’ (*O. ficus-indica*\_3) e ‘F21 Sementes’ (*Nopalea*\_1) tem menor transpiração;

As cultivares ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*O. stricta*\_1); ‘Miúda’ (*Nopalea*\_4) e ‘Copena’ (*O. ficus-indica*\_1) são as que tem maior eficiência de uso da água, sendo, portanto, as mais indicadas para cultivo em ambientes com restrição hídrica.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C.; PEREIRA, V. L. A. Study of the genetic variability, correlation and importance of phenotypic characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2849-2859, 2016.

ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, M. G. de V.; SOUZA, M. F. V.; SANTOS, D. C. Seasonal variability of phenolic compounds and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* genres. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 536-543, 2017.

ANJOS, D. N.; VASCONCELOS, R. C.; MENDES, H. T. A.; CANFUSSU, A. C. V. Gas exchange in the bean plant subject to growth regulators, NPK and micronutrientes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1797-1804, 2014.

BARTWAL, A.; MALL, R.; LOHANI, P.; GURU, S.K.; ARORA, S. Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 1, p. 216-232, 2013.

BRAVO FILHO, E. S.; SANTANA, M. C.; SANTOS, P. A. A.; RIBEIRO, A. S. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v. 12, n. 1, p. 41-53, 2018.

CAJAZEIRA, J. P.; CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. I. B.; QUEIROZ, R. F.; MESQUITA, R. O. Growth and gas exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 112-121, 2018.



- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973-983, 2015.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- DALASTRA, G. M.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; HACHMANN, T. L.; INAGAKI, A. M. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 365-371, 2014.
- DUTRA, A. F.; MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; SILVA, A. R. F.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Agrária**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Principal component analysis: theory, interpretations and applications. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83-90, 2015.
- HUBER, J.; DETTMAN, D. L.; WILLIAMS, D. G.; HULTINE, K. R. Gas exchange characteristics of giant cacti species varying in stem morphology and life history strategy. **American Journal of Botany**, v. 105, n. 10, p. 1688-1702, 2018.
- HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. **Introduction to plant physiology**. 4ed. New York: John Wiley; Sons, 2009. 528p.
- HUSSAIN, S.; LURO, F.; COSTANTINO, G.; OLLITRAULT, P.; MORILLON, R. Physiological analysis of salt stress behavior of citrus species and genera: Low chloride accumulation as an indicator of salt tolerance. **South African Journal of Botany**, v. 81, n. 103, p. 103-112, 2012.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2015. **Dados climáticos da Estação de Arcoverde: série histórica de 1961 a 2014**. Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan, v.7, 452p, 2004.
- LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatol responses os *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.
- LINA, A.; ELOISA, L. How do young cacti (seeds and seedlings) from tropical xeric environments cope with extended drought periods? **Journal of Arid Environments**, v. 154, p. 1-7, 2018.
- MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MARENCO, R. A.; ANTEZAN-VERA, S. A.; GOUVÊA, P. R. S.; CAMARFO, M. A. B.; OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, J. K. S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, Suplemento, p. 786-789, 2014.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297p.

OLIVEIRA, F. T.; SILVA, J. S.; SILVA, R. P.; ANDRADE-FILHO, F. C.; PEREIRA-JUNIOR, E. B. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

OVALLES, F. A.; COLLINS, M. E. Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 5, n. 8402, p. 1430-1435, 1988.

RENCER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. **Methods of multivariate analysis**. 3ed. New York: John Wiley Professio, 2012. 758p.

RODZIEWICZ, P.; SWARCEWICZ, B.; CHMIELEWSKA, K.; WOJAKOWSKA, A.; STOBIECKI, M. Influence of abiotic stresses on plant proteome and metabolome changes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 1, p. 1-19, 2014.

RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.

ROMERO, P.; BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 158-173, 2006.

ROSA-MANZANO, E. L.; FLORES, J.; DELGADO-SANCHEZ, P. Effects of spine-shading on aspects of photosynthesis for three cactus species. **Botanical Sciences**, v. 94, n. 2, p. 301-310, 2016.

SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.

SCHEINVAR, L. Usos e importância das Cactáceas. In: I WORKSHOP SOBRE A PALMA FORRAGEIRA: USOS E PERSPECTIVAS PARA O SEMIÁRIDO. 1, 2012, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana, 2012. 151p.

SILVA, F. D.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela

sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.

SNYMAN, H. A. Growth rate and water-use efficiency of cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Arid Land Research and Management**, v. 27, n. 4, p. 337-348, 2013.

STRAPASSON, E.; VENCovsky, R.; BATISTA, L. A. R. Seleção de Descritores na Caracterização de Germoplasma de *Paspalum* sp. por meio de Componentes Principais. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 373-381, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre. Artmed Editora, 2017, 858p.

TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.

VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: A visual resource for analysis and interpretation of quantitative data. **Revista Odontológica Brasil Central**, v. 26, n. 76, p. 1-6, 2017.

## CAPÍTULO II

### EXISTE CORRELAÇÃO ENTRE NÍVEL DE PLOIDIA E CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS EM CACTACEAE? IMPLICAÇÕES PARA O MELHORAMENTO GENÉTICO DE *Opuntia* E *Nopalea*

**RESUMO:** *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, são amplamente cultivadas para alimentação de rebanhos, em virtude da elevada adaptabilidade destas culturas as condições edafoclimáticas da região semiárida brasileira. Outras espécies de *Opuntia* têm sido utilizadas como possíveis doadores de genes de resistência em programas de melhoramento. O trabalho tem como objetivo fornecer uma caracterização cromossômica para seis espécies de *Opuntia*, totalizando 17 cultivares, bem como para sete cultivares de *N. cochenillifera*, oriundas do Instituto Agrônomo de Pernambuco. Todas as cultivares de *N. cochenillifera*, *O. atropes*, e ‘Orelha de Elefante Africana’ (*O. undulata*) apresentaram  $2n = 22$  cromossomos. Tetraploides com  $2n = 44$  foram identificados em quatro cultivares de *Opuntia*, incluindo duas cultivares de *O. undulata* e uma de *O. larreyi* e *O. stricta*. Cultivares octaploides com  $2n = 88$  foram identificadas em cinco cultivares de *O. ficus-indica*, quatro cultivares de *Opuntia* sp. e uma de *O. stricta*. O bandeamento com CMA/DAPI revelou a ocorrência de apenas um tipo de heterocromatina, formada por bandas CMA<sup>+</sup>/DAPI<sup>-</sup>. Dois padrões de bandas CMA<sup>+</sup> foram observados: Bandas terminais associadas às RONS em todas as cultivares e bandas pericentroméricas em cinco cultivares. Houve correlação positiva entre largura, comprimento, espessura e área do cladódio com o nível de ploidia das cultivares. O número de cladódios apresentou forte correlação negativa em relação ao nível de ploidia. Os poliploides foram superiores aos diploides em relação a largura, comprimento e área do cladódio, não havendo diferença significativa entre tetraploides e octaploides. Em relação a espessura dos cladódios e altura das plantas, apenas os octaploides foram superiores aos diploides, enquanto os tetraploides não apresentaram variação significativa em relação aos diploides e octaploides. Por outro lado, em relação ao número de cladódios, os diploides foram superiores aos poliploides, enquanto tetraploides e octaploides não diferiram estatisticamente entre si. Poliploides são mais adaptadas ao estresse hídrico do que os diploides, enquanto os octaploides são mais susceptíveis ao ataque da cochonilha do carmim em relação aos diploides. O aumento correspondente no tamanho celular que acompanha a poliploidização parece ter resultado no aumento geral do tamanho dos órgãos e tecidos, tornando os poliploides superiores aos diploides em muitas características agronômicas. Estas mudanças explicam também alterações na fisiologia e na regulação gênica em poliploides, tornando-os mais adaptadas à seca e mais susceptíveis ao ataque da cochonilha do carmim.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cochonilha; Heterocromatina; Palma forrageira; Poliploidia; Semiárido

# IS THERE CORRELATION BETWEEN PLOIDY LEVEL AND PHENOTYPIC CHARACTERISTICS IN CACTACEAE? IMPLICATIONS FOR GENETIC IMPROVEMENT OF *Opuntia* AND *Nopalea*

**ABSTRACT:** Many species of Cactaceae are economically important, especially *Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera*, which are widely cultivated for feeding herds, due to the high adaptability of these species to edaphoclimatic conditions from Brazilian semi-arid region. The present work provides a more detailed chromosome characterization of six species of *Opuntia*, totaling 17 different cultivars, as well as seven cultivars of *N. cochenillifera*. All cultivars of *N. cochenillifera*, *O. atropes*, and *O. undulata* 'Orelha de elefante africana' presented  $2n = 22$  chromosomes. Tetraploids with  $2n = 44$  were identified in four cultivars of *Opuntia*. Octaploid cultivars with  $2n = 88$  were identified in 10 cultivars of *Opuntia*. CMA/DAPI Banding revealed the occurrence of only one type of heterochromatin, formed by CMA<sup>+</sup>/DAPI<sup>-</sup> bands. Two patterns of CMA<sup>+</sup> bands were observed: Terminal bands associated with RONS in all cultivars and pericentromeric bands in five cultivars. There was a positive correlation between width, length, thickness and cladode area with ploidy level. The number of cladodes presented a strong negative correlation with ploidy level. Polyploids are superior to diploids in relation to the width, length and cladode area, and there is no significant difference between tetraploids and octaploids. In relation to thickness and height, only the octaploids are superior to diploids, whereas the tetraploids did not present significant variation in relation to diploids and octaploids. On the other hand, in relation to the number of cladodes, the diploids were superior to the polyploids, whereas tetraploids and octaploids did not differ statistically among themselves. Polyploids are more resistant than diploids in relation to drought, while octaploids are more susceptible than diploids to *Dactylopius opuntiae* attack. Frequently, the corresponding increase in cell size that follow polyploidization results in an overall increase in organs and tissues sizes, making polyploids superior to diploids in many morphological characteristics. These changes also explain alterations in physiology and gene regulation in polyploids, making them more resistant to drought and more susceptible to *Dactylopius opuntiae* attack.

**KEYWORDS:** Cochineal; Forage palm; Heterochromatin; Polyploidy; Semi-arid

## 1. INTRODUÇÃO

A família Cactaceae apresenta ca. 94 gêneros e 1.159 espécies (CHRISTENHUSZ et al., 2017) de ocorrência geralmente condicionada a ambientes xéricos. Tem sido tradicionalmente subdividida em quatro subfamílias: Cactoideae, Malhuenioideae, Opuntioideae e Pereskioideae (BÁRCENAS et al., 2011). Apesar de ser um grupo claramente monofilético, (APG VI, 2016; CHRISTENHUSZ et al., 2017), a subfamília Pereskioideae é atualmente reconhecida como polifilética (BÁRCENAS et al., 2011; GUERRERO et al., 2018). Em termos de números cromossômicos, há registros para 37% de suas espécies, cujo número básico é claramente  $x = 11$  (CASTRO et al., 2013, 2016).

Muitas espécies apresentam importância econômica, com destaque para o gênero *Opuntia*, cujos frutos são consumidos no mundo inteiro, e os cladódios são consumidos em conserva no México (CHRISTENHUSZ et al., 2017). Atualmente, milhões de hectares são utilizados para o cultivo de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill destinado a alimentação, forragem ou produção de corantes no México (3 milhões ha), Argentina (1.650 ha), Brasil (500.000 ha), Peru (10.000 ha) e Chile (1.000 ha) (INGLESE et al. 2017; GUERRERO et al., 2018).

Especialmente no Nordeste brasileiro, *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* (L.) são as espécies mais amplamente cultivadas para alimentação de rebanhos, em virtude da elevada adaptabilidade destas culturas a condições extremas de estresse hídrico, temperaturas e incidência de radiação solar, características da região semiárida brasileira (SANTOS et al., 2006; OLIVEIRA, 2016). Como consequência da elevada importância econômica para a região, estes gêneros têm sido utilizados em programas de melhoramento vegetal, e atualmente estão disponíveis diversas cultivares de *Opuntia* e *Nopalea*. Todavia, nos últimos anos tem sido observada uma susceptibilidade ao ataque de *Dactylopius opuntiae*, conhecida como cochonilha do carmim, principalmente em cultivares de *O. ficus-indica* (SILVA et al., 2010). Apesar dos esforços, pouco se conhece sobre as razões da susceptibilidade a cochonilha do carmim, e nenhum mecanismo de controle tem-se mostrado completamente eficaz.

A poliploidia, definida como a duplicação de um conjunto inteiro de cromossomos (o genoma), é uma força evolutiva importante para a diversificação das angiospermas (LEITCH; LEITCH, 2008; DODSWORTH et al., 2016; CARTA et al., 2018). Um conjunto crescente de evidências indica que a poliploidia está envolvida na origem das principais inovações morfofisiológicas que contribuíram para o surgimento e eventual dominância das plantas com sementes, e posteriormente das angiospermas (JIAO et al., 2011). A duplicação do genoma (WGD) é considerada igualmente importante para a evolução das Cactaceae (GUTIÉRREZ-FLORES et al., 2018), com registros de poliploidia em aproximadamente 20% de suas espécies (CASTRO et al., 2016). Esse tem sido considerado o principal evento relacionado à formação de barreiras de isolamento reprodutivo e origem de novas espécies, algumas vezes ocorrendo em associação com a hibridização e reorganizações cromossômicas crípticas (COTA; PHILBRICK, 1994; BAKER et al. 2009; GUTIÉRREZ-FLORES et al., 2018). Em Cactaceae a poliploidia tem sido positivamente correlacionada com aspectos fisiológicos, diferenças

morfológicas e distribuição geográfica, bem como o surgimento de novos sistemas sexuais (GUTIÉRREZ-FLORES et al., 2018).

Para a subfamília Opuntioideae, observa-se uma elevada ocorrência de espécies poliploides (REBMAN; PINKAVA, 2001), com poliploidia registrada para aproximadamente 65% de suas espécies, com destaque para os gêneros *Opuntia* e *Cylindropuntia* para os quais há registros de poliploidia para 65 das 94 e 18 das 36 espécies com contagens cromossômicas previamente reportadas na literatura. Por outro lado, não há registro de poliploidia entre as quatro das sete espécies conhecidas de *Nopalea* com registro cromossômico prévio na literatura (Castro et al. submetido).

A poliploidia tem sido interpretada uma fonte propulsora de diversidade, interações com herbívoros, expansão geográfica, troca de nichos climáticos, além de facilitar a longevidade da linhagem (revisado por CLARK; DONOGHUE, 2018). Além disso, a possibilidade de aumento da diversidade alélica, fixação da heterozigose e de mudanças na organização do genoma em nível genético e epigenético (LI et al., 2010; VAN DE PEER et al., 2017), evidenciam que a poliploidia apresenta profundas implicações para o melhoramento vegetal. Apesar da óbvia importância da poliploidia para a evolução das plantas em geral de família Cactaceae em particular, poucas pesquisas têm se dedicado a identificação dos níveis de ploidia das cultivares utilizadas em programas de melhoramento de *Opuntia* e *Nopalea*, ou a investigação das relações entre nível de ploidia e fenótipos de interesse. O presente trabalho objetivou: 1) fornecer uma caracterização cromossômica detalhada para sete espécies e 27 cultivares pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, identificando os níveis de ploidia de cada cultivar; 2) investigar a correlação entre diferentes níveis de ploidia e características fenotípicas importantes para o melhoramento genético dos gêneros.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Uma relação de todas as espécies e principais características cariológicas estão sumarizadas na Tabela 1, enquanto as Figuras 1 e 2 ilustram todas as espécies analisadas e algumas cultivares. A coleta dos cladódios de todas as espécies e cultivares foi realizada na Estação Experimental de Arcoverde, localizada no município de Arcoverde, Pernambuco, Brasil, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e, posteriormente, cultivados em casa de vegetação. Para as análises cromossômicas, pontas de raízes jovens foram obtidas diretamente do material cultivado e submetidas a pré-

tratamento com 8-hidroxiquinolina 0,002 M (8HQ) por 24 h à 10° C, posteriormente fixadas em solução Carnoy 3:1 (etanol absoluto: ácido acético glacial, v/v) por 2–24 hs em temperatura ambiente e armazenadas à –20° C.

Para o preparo das lâminas, as raízes foram digeridas em uma solução enzimática contendo 2% de celulase e 20% de pectinase à 37°C durante 1 h. Posteriormente, o tecido meristemático foi esmagado em ácido acético 45%, e as lamínulas removidas após congelamento em nitrogênio líquido por 4 minutos.

Para a dupla coloração com os fluorocromos Cromomicina A<sub>3</sub> (CMA) e 4',6-diamidino-2-fenilindol (DAPI), seguiu-se o protocolo descrito por Barros et al. (2010). As lâminas foram primeiro coradas com CMA (0,2 mg mL<sup>-1</sup>) por 1 h, lavadas com água destilada e depois coradas com DAPI (2 µg mL<sup>-1</sup>) por 30 min e, posteriormente, montadas em meio contendo glicerol/tampão McIlvaine. As melhores metáfases foram capturadas em um microscópio de epifluorescência Zeiss acoplado a uma câmera de vídeo Axio Cam MRC5, por meio do software Axiovision 4.8. As melhores imagens foram processadas para sobreposição das imagens, brilho e contraste com o software Photoshop CS3.

A avaliação das características agronômicas para análise de correlação foi realizada no Banco de Germoplasma (BAG) do IPA. Foram determinados a largura (LAR), comprimento (COM), espessura (ESP), área do cladódio (AC), número de cladódios totais (NC), altura de plantas (ALT) e área fotossintética total (AFT). Para a avaliação da LAR, COM e ESP foram mensurados cinco cladódios secundários por planta. Para a altura das plantas, foram selecionadas duas plantas por cultivar que apresentassem cladódios primários, secundários e terciários. Por sua vez, a AC foi estimada, conforme descrito por Sales et al. (2013), por meio da fórmula:  $AC = COM \times LAR \times 0,632$ , enquanto a AFT foi estimada pela multiplicação de AC pelo NC.

Os fenótipos de adaptação à seca (1 = ADAPTADA A SECA e 2 = MENOS ADAPTADA A SECA), e a cochonilha do carmim (A = RESISTENTE B = SUSCEPTIVEL) foram caracterizados previamente por Lopes et al. (2010). A avaliação da produtividade foi ao final do ciclo de dois anos de produção (SILVA et al., 2015). A análise de presença de espinhos foi baseada na metodologia proposta por Gallegos-Vázquez et al. (2005): até 4 espinhos = pouco espinho, de 5 a 9 espinhos por aréolas = muito espinho.

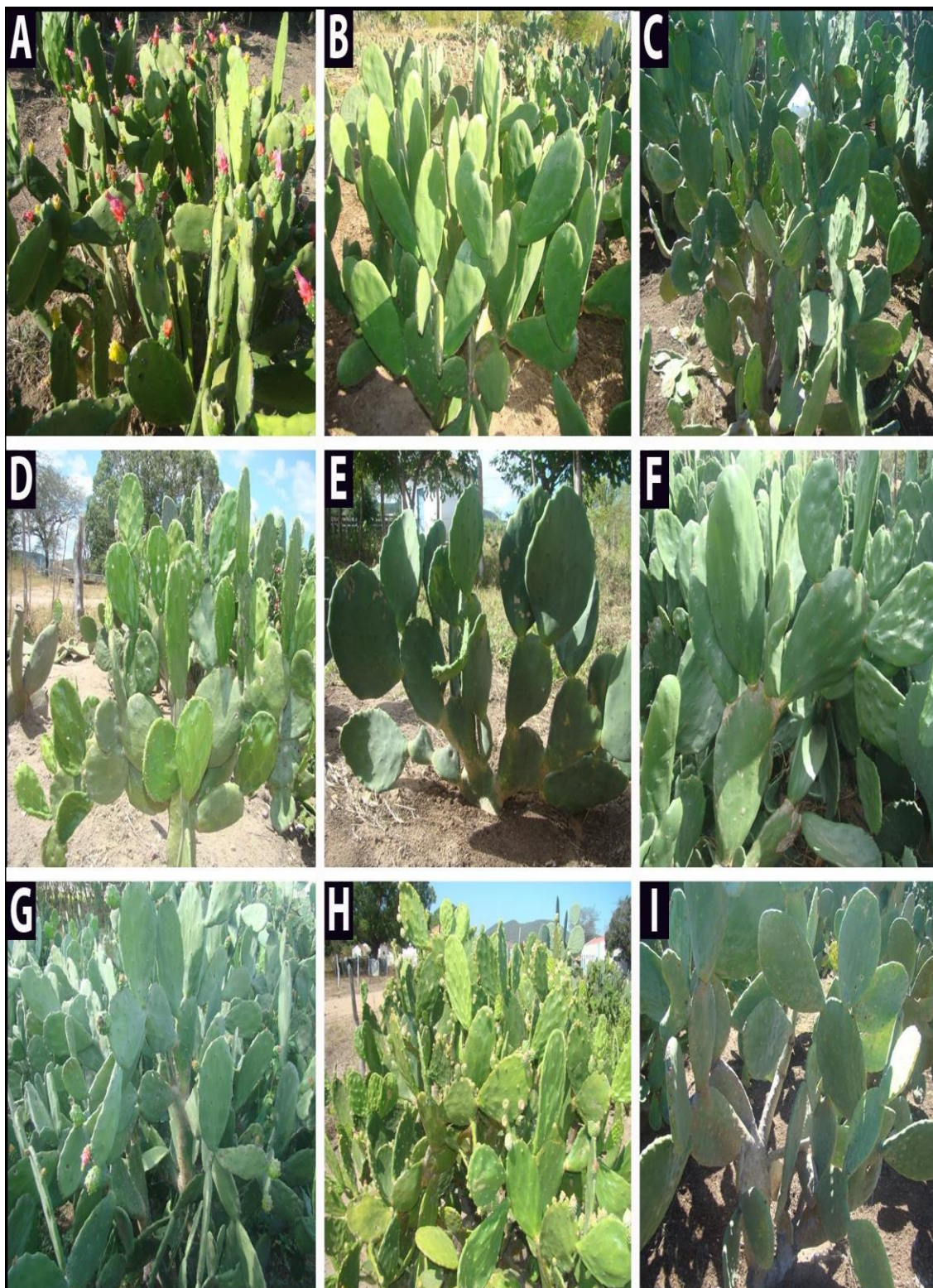
Foram analisadas seis espécies de *Opuntia*, totalizando 17 diferentes cultivares, além de sete cultivares de *Nopalea cochenillifera*, que foram comparadas estatisticamente em relação ao nível de ploidia, a sete características quantitativas (LAR, COM, ESP, AC,



NC, ALT e AFT) e a três características qualitativas: adaptação a seca, resistência a cochonilha do carmim e ocorrência de espinhos.

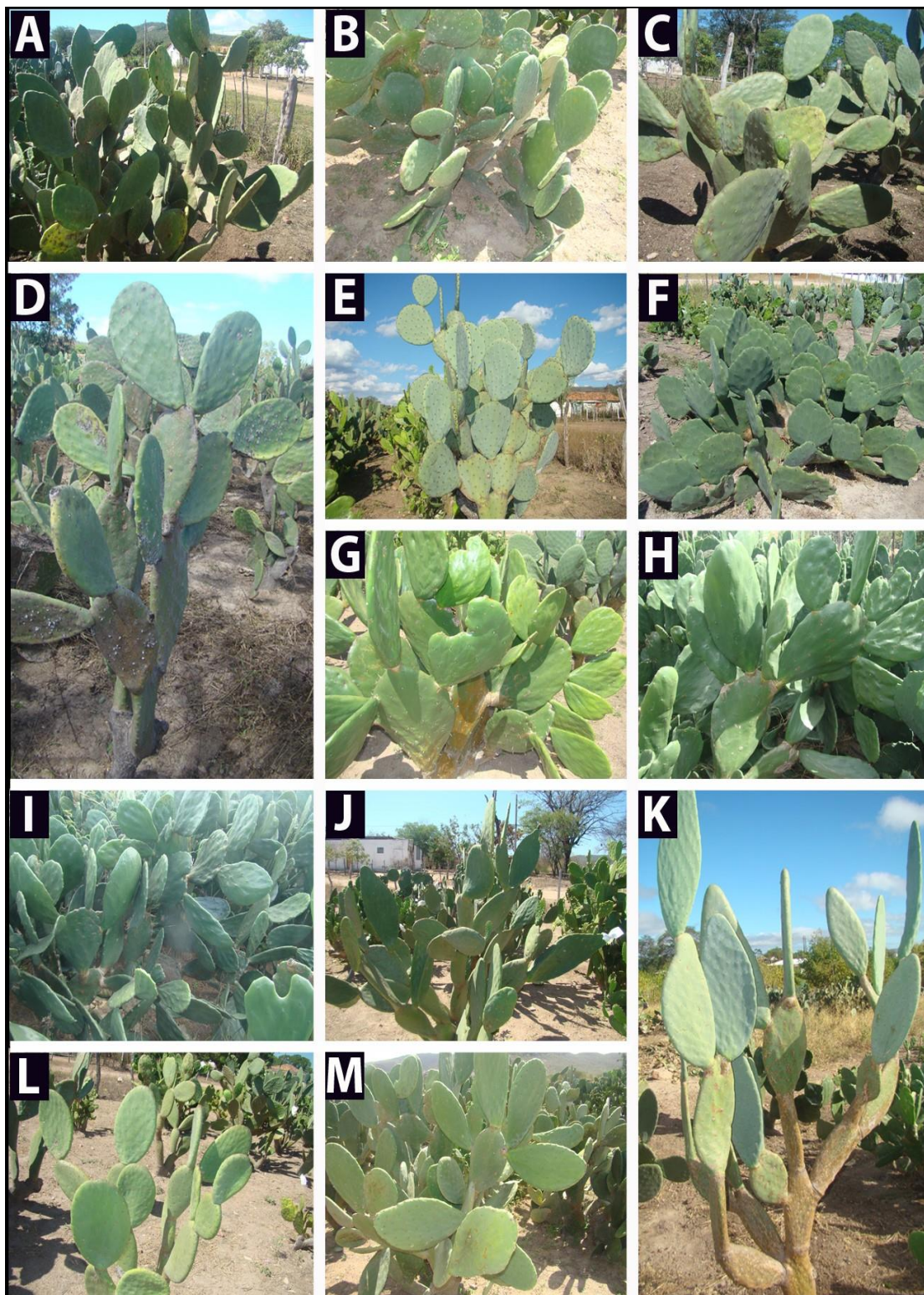
Para se verificar o grau de associação entre o nível de ploidia (diploide, tetraploide e octaploide) de cada cultivar e as características quantitativas, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson. Para avaliar as diferenças entre os grupos com diferentes níveis de ploidia, em relação a cada variável quantitativa, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA). Quando a ANOVA apresentou um resultado significativo ( $P < 0.05$ ), aplicou-se o teste de Tukey a posteriori para identificar a fonte da significância.

As cultivares foram analisadas em termos de suas frequências relativas em relação às variáveis qualitativas categóricas. Para avaliar o grau de associação entre as variáveis qualitativas categóricas e o nível de ploidia das cultivares, foi utilizado o teste do Phi-quadrado. Para avaliar o grau de significância entre diploides e poliploides, em relação as variáveis qualitativas, utilizou-se o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ). O teste do V-quadrado foi utilizado para corrigir o tamanho amostral, que é considerado um equivalente ao qui-quadrado de Pearson. Todas as análises foram realizadas com o software *Statistica*® versão 10.0.



**Figura 1.** Variedades analisadas de *Nopalea cochenillifera*: **A.** 'Miúda'; **B.** 'IPA Sertânia'; **C.** 'F21'; **D.** 'Orelha de Onça'; **E.** 'O. E. M. Lisa'; **F.** 'F21 Semente'; **G.** 'F21 Cultura de tecido 6'; e *Opuntia atropes*: **H.** 'F8'; **I.** 'F24'





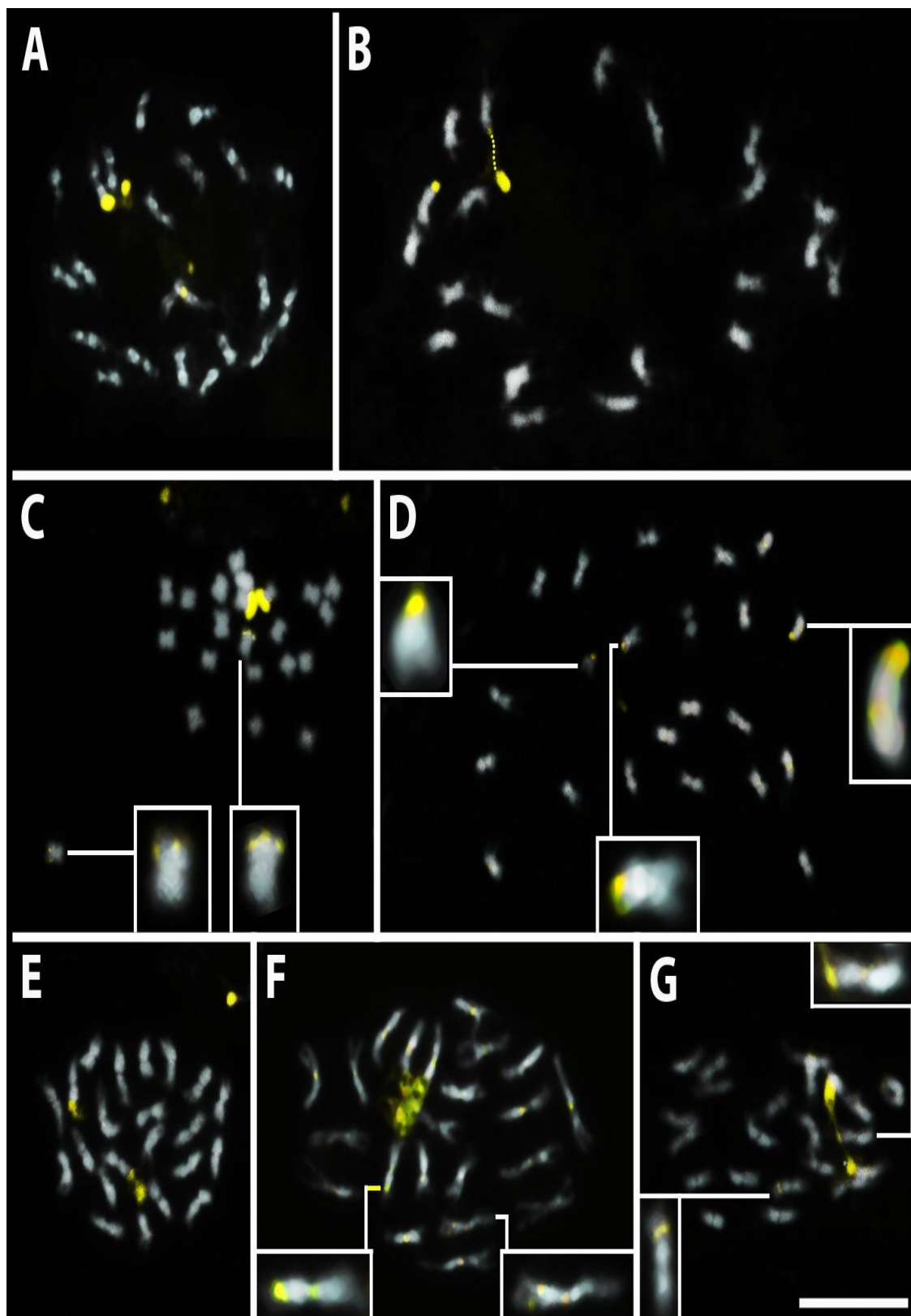
**Figura 2.** Variedades analisadas de *O. ficus-indica*: **A.** ‘Gigante’; **B.** ‘Redonda’; **C.** ‘Clone 20’; **D.** ‘IPA 98/T23 F5’; *O. larreyi*: **E.** ‘V19’; *O. stricta*: **F.** ‘Orelha de Elefante Mexicana’; *O. undulata*: **G.** ‘Orelha de Elefante Africana’; **H.** ‘Clone 6 O. E. A.’; **I.** ‘Clone 9 O. E. A.’; *Opuntia* sp: **J.** ‘Chilly Fruit’; **K.** ‘Algerian’; **L.** ‘Liso Forrageiro’; **M.** ‘V23’

### 3. RESULTADOS

Os números cromossômicos, padrões de bandas CMA/DAPI encontram-se sumarizados na Tabela 1. As espécies variaram em número cromossômico e padrões de bandas, com ocorrência de três números cromossômicos. Todas as cultivares de *Nopalea cochenillifera* (Figura 3A-G), *Opuntia atropes* (Figura 4A, B), e *O. undulata* ‘Orelha de Elefante Africana’, (Figura 5D) apresentaram  $2n = 22$  cromossomos. Tetraploides com  $2n = 44$  foram identificados nas cultivares *O. larreyi* ‘V19’ (Figura 5A), *O. stricta* ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (Figuras 5B), *O. undulata* ‘Clone 6 O.E.A.’ e ‘Clone 9 O.E.A.’ (Figuras 5E, F, respectivamente). Cultivares octaploides com  $2n = 88$  foram identificadas em *O. ficus-indica* ‘Gigante’ (Figura 4C), ‘Redonda’ (Figura 4D), ‘Clone20’ (Figura 4E), ‘IPA98/T51F3’ (Figura 4F), e ‘IPA98/T23F5’ (Figura 4G), *O. stricta* ‘OEM Espinho’ (Figura 5C), bem como em *Opuntia* sp. ‘Chilly Fruit’ (Figura 6A), ‘Algerian’ (Figura 6B), ‘Liso Forrageiro’ (Figura 6C), ‘V23’ (Figura 6D).

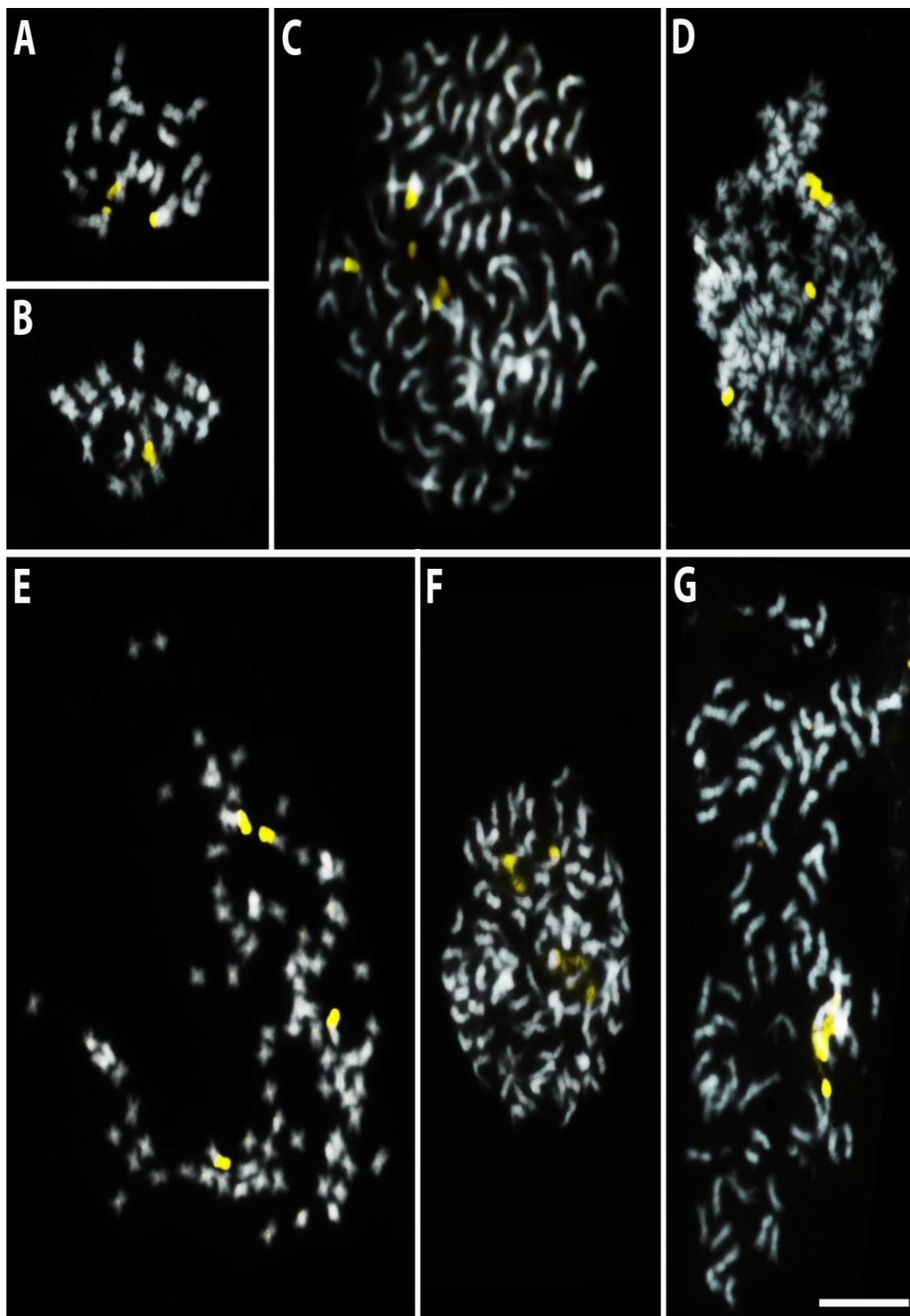
**Tabela 1.** Espécies e cultivares pertencentes aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* (Cactaceae) analisadas por meio da dupla coloração com os fluorocromos CMA e DAPI. São apresentados os registros oficiais do IPA, a origem das cultivares, os parentais e/ou clones, números cromossômicos ( $2n$ ) e padrões de bandas heterocromáticas CMA<sup>+</sup> (TER = terminais, PER = pericentroméricas e INT = intercalares) para todas as cultivares analisadas.

Registro IPA	Gênero/Espécie	Nome da cultivar	Origem	Parentais/clones	Fig.	$2n$	Número de bandas CMA <sup>+</sup>		
							TER	PER	INT
100004	<i>Nopalea cochenillifera</i>	‘Miúda’	DESC. BR	-	1 <sup>a</sup>	22	2	22	-
200205		‘IPA Sertânia’	BA-BR	Filha/miúda	1B	22	2	-	-
200021		‘F21’	México	-	1C	22	4	-	-
200206		‘Orelha de Onça’	PE-BR	-	1D	22	4	-	-
-		‘O. E. M. Lisa’	PE-BR	Filha/o.e.m.	1E	22	2	-	-
100000		‘F21 Semente’	PE-BR	Filha/F21	1F	22	2	22	1
100419		‘F21 Cultura de tecido 6’	PE-BR	Filha/F21	1G	22	3	-	1
200008	<i>Opuntia atropes</i> Rose	‘F8’	México	-	1H	22	2	-	-
200024		‘F24’	México	-	1I	22	2	-	-
100001	<i>O. ficus-indica</i>	‘Gigante’	DESC. BR	-	2 <sup>a</sup>	88	4	-	-
100002		‘Redonda’	DESC. BR	-	2B	88	4	-	-
100003		‘Clone 20’	PE-BR	Filha/gigante	2C	ca. 88	4	-	-
-		‘IPA 98/T51 F3’	PE-BR	Filha/gigante		ca. 88	4	-	-
100462		‘IPA 98/T23 F5’	PE-BR	Filha/gigante	2D	ca. 88	4	-	-
200149	<i>O. larreyi</i> F.A.C.	‘V19’	México	-	2E	44	4	-	-
200016	<i>O. stricta</i> (Haw)	‘Orelha de Elefante Mexicana’	México	-	2F	44	4	-	-
-		‘O. E. M. Espinho’	PE-BR	Filha/o.e.m.		88	2	-	-
200174	<i>O. undulata</i> Griffiths	‘Orelha de Elefante Africana’	México	-	2G	22	2	-	-
100430		‘Clone 6 O. E. A.’	PE-BR	Filha/o.e.a.	2H	44	2	6	-
100431		‘Clone 9 O. E. A.’	PE-BR	Filha/o.e.a.	2I	44	2	-	-
200172	<i>Opuntia</i> sp	‘Chilly Fruit’	E.U.A.	-	2J	88	4	-	-
200207		‘Algerian’	E.U.A.	-	2K	ca. 88	4	12	-
200012		‘Liso Forrageiro’	México	-	2L	ca. 88	4	-	-
200153		‘V23’	México	-	2M	ca. 88	4	-	-

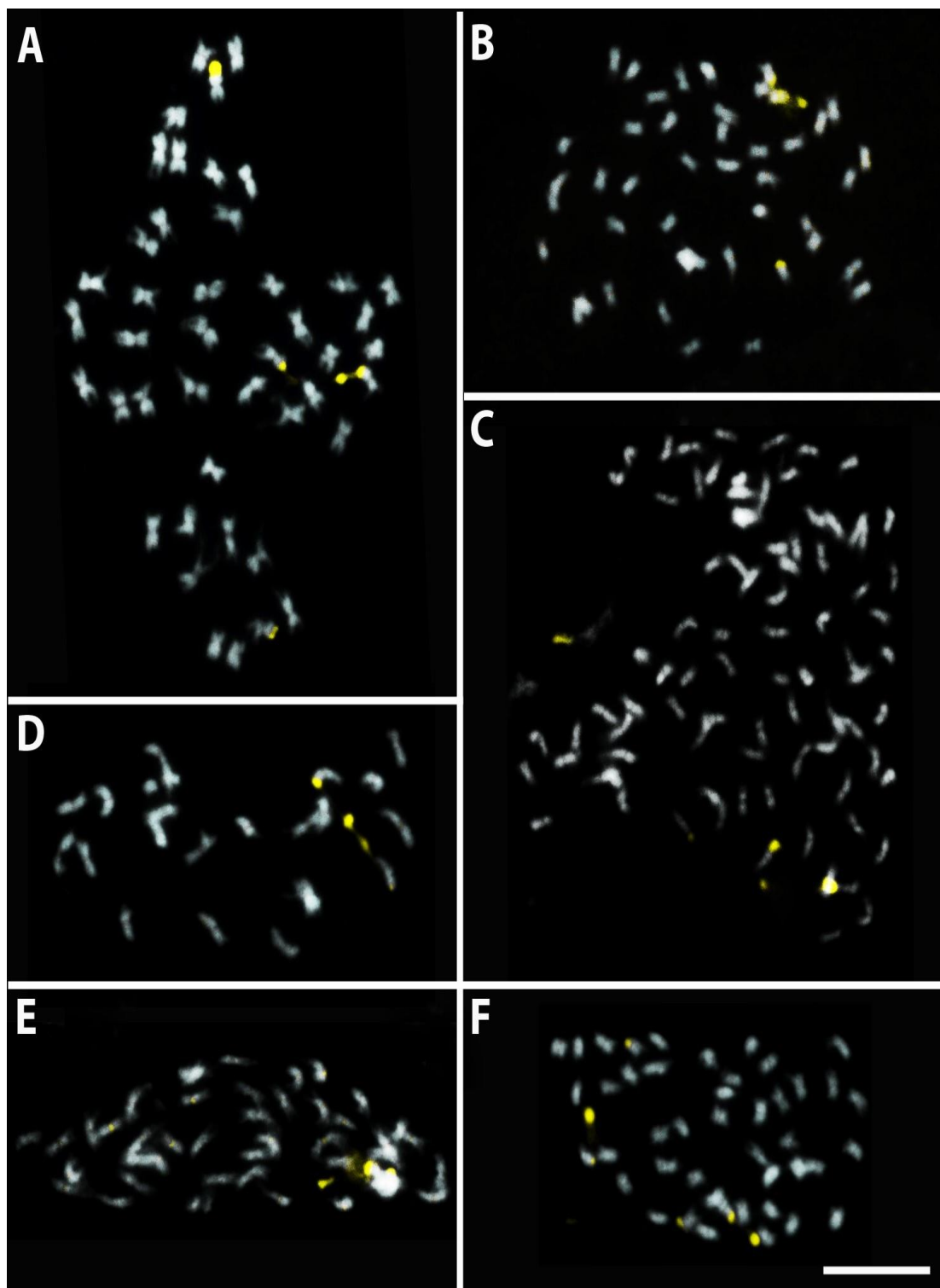


**Figura 3.** Complementos cromossômicos com  $2n = 22$ , pertencentes às cultivares de *Nopalea cochenillifera*, corados com DAPI e CMA: **A.** ‘Miúda’, **B.** ‘IPA Sertânia’, **C.** ‘F21’, **D.** ‘Orelha de Onça’, **E.** ‘O.E.M. Lisa’, **F.** ‘F21 Semente’, **G.** ‘F21 Cultura de tecido 6’. Insertos em **C**, **D**, **F**, **G** indicam bandas CMA<sup>+</sup> discretas. Barra em **G** = 10 $\mu$ m



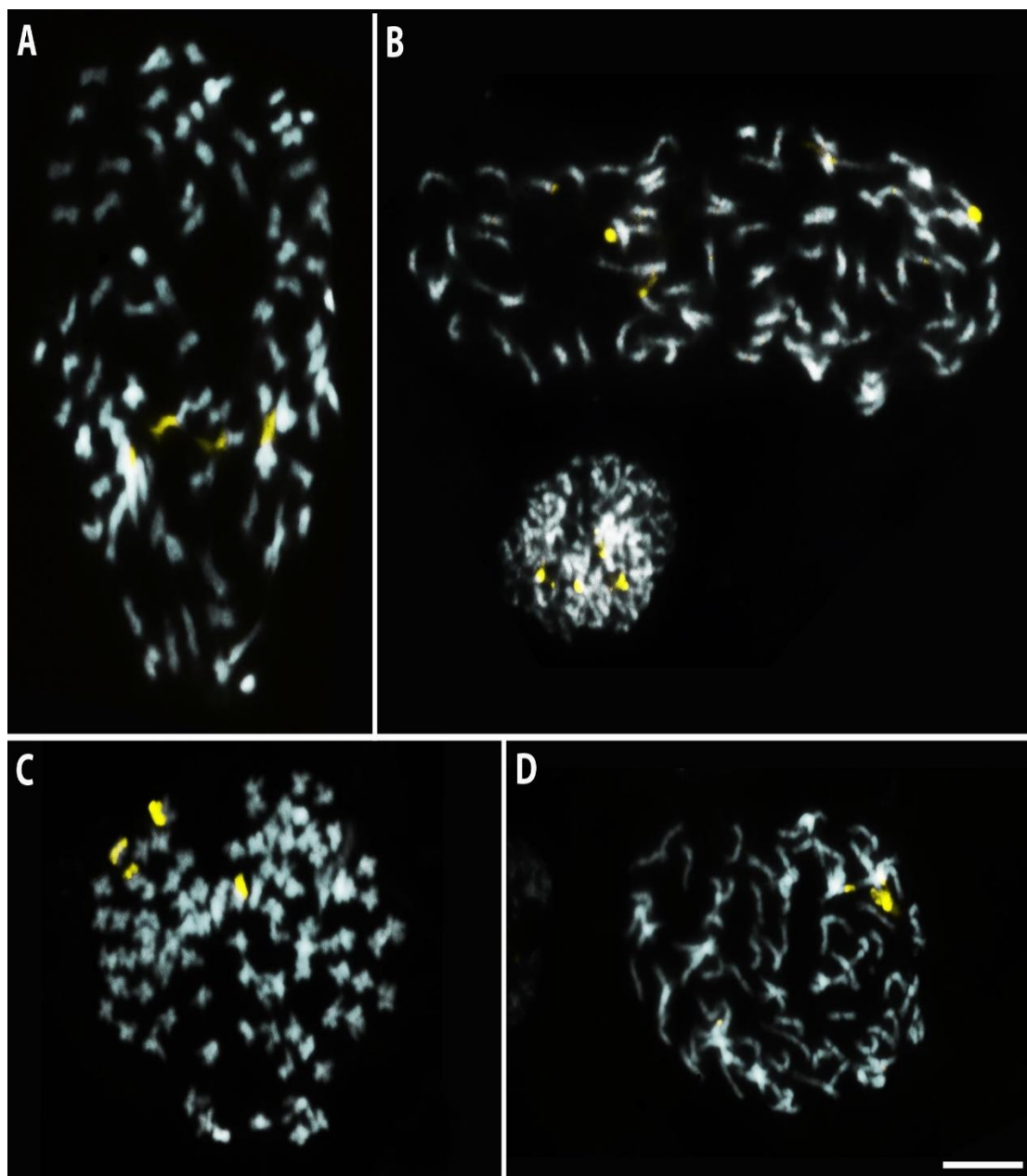


**Figura 4.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* corados com DAPI e CMA. *Opuntia atropes* com  $2n = 22$ : **A.** 'F8', **B.** 'F24'. *O. ficus-indica* com  $2n = 88$ : **C.** 'Gigante', **D.** 'Redonda', **E.** 'Clone 20', **F.** 'IPA 98/T51 F3', **G.** 'IPA 98/T23 F5'. Barra em **G** = 10 $\mu$ m



**Figura 5.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* corados com DAPI e CMA. **A.** *O. larreyi* 'V19' com  $2n = 44$ . *O. stricta* com  $2n = 44$ ; **B.** 'Orelha de Elefante Mexicana'. *O. stricta* com  $2n = 88$ ; **C.** 'O.E.M. Espinho'. *O. undulata* com  $2n = 22$ ; **D.** 'Orelha de Elefante Africana', e com  $2n = 44$ ; **E.** 'Clone 6 O.E.A.', **F.** 'Clone 9 O.E.A.' Barra em **F** = 10µm





**Figura 6.** Complementos cromossômicos pertencentes a diferentes espécies e cultivares de *Opuntia* sp. com  $2n = 88$ , corados com DAPI e CMA. **A.** ‘Chilly Fruit’, **B.** ‘Algerian’, **C.** ‘Liso Forrageiro’, **D.** ‘V23’. Barra em **D** = 10 $\mu$ m

O bandeamento com CMA/DAPI revelou a ocorrência de apenas um tipo de heterocromatina, formada por regiões ricas em GC, formando bandas CMA<sup>+</sup>/DAPI<sup>-</sup> de diferentes intensidades de brilho. Contudo, os padrões de bandas CMA<sup>+</sup> variaram em número, tamanho e localização entre espécies e cultivares analisadas. A maioria das espécies exibiram bandas terminais CMA<sup>+</sup> variando de duas a quatro (Tabela 1), algumas delas bastante conspícuas, formando satélites provavelmente correspondentes as RONS.

*Nopalea cochenillifera* ‘F21’ (Figura 3C, insertos) e ‘F21 Semente’ (Figura 3F, insertos), além das bandas maiores, apresentaram discretas bandas terminais (Figura 3C, F).

Regiões pericentroméricas formando bandas CMA<sup>+</sup> foram observadas em todos os cromossomos de *Nopalea cochenillifera* ‘Miúda’ (Figura 3A), ‘F21 Semente’ (Figura 3F), em pelo menos seis cromossomos de *O. undulata* ‘Clone 6 O.E.A’ (Figura 5E), em 12 cromossomos de *Opuntia* sp, ‘Algerian’ (Figura 6B). Pequenas bandas CMA<sup>+</sup> intersticiais heterozigotas foram observadas apenas em um cromossomo de *Nopalea cochenillifera* ‘F21 Semente’ (Figura 3F, inserto à direita) e ‘F21 Cultura de tecido 6’ (Figura 3G, inserto à esquerda).

Para a correlação entre fenótipo e nível de ploidia, os valores médios para oito variáveis quantitativas encontram-se sumarizados na Tabela 2. Também é apresentado na Tabela 2 o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para cada variável em relação ao nível de ploidia de cada cultivar. Observou-se uma correlação positiva entre as variáveis largura (0,30), comprimento (0,24), espessura (0,36) e área do cladódio (0,33) e o nível de ploidia das cultivares, com valores de Coeficiente de Correlação Linear de Pearson muito próximos. A produtividade apresentou uma correlação positiva negligenciável (ou ausência de correlação) de apenas 0,17. Também se verificou uma correlação negativa negligenciável para a altura (-0,11) e área fotossintética total (-0,15), com relação ao nível de ploidia das cultivares analisadas. O número de cladódios (-0,43) apresentou forte correlação negativa em relação ao nível de ploidia.

**Tabela 2.** Média e desvio padrão das variáveis analisadas para cada cultivar pertencente aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* (Cactaceae). É apresentado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson entre nível de ploidia (X) e as seguintes variáveis: LAR (largura do cladódio), COM (comprimento do cladódio), ESP (espessura do cladódio), AC (Área do cladódio), ALT (altura), NC (número de cladódios), AFT (área fotossintética total), PR (produtividade).

Espécie/Cultivar	X	Valores médios das variáveis quantitativas														
		LAR	SD	COM	SD	ESP	SD	ÁC	SD	ALT	SD	NC	SD	AFT	SD	PR
<b>Correlação de Pearson</b>		<b>0,30</b>		<b>0,24</b>		<b>0,36</b>		<b>0,33</b>		<b>-0,11</b>		<b>-0,43</b>		<b>-0,15</b>		<b>0,17</b>
<i>Nopalea cochenillifera</i>																
‘Miúda’	2x	11,20	0,44	28,20	4,54	15,44	3,25	199,4592	31,42	1,63	0,23	273	19,62	54802,61	425,45	180
‘IPA Sertânea’	2x	15,88	0,83	37,94	4,45	22,83	2,96	380,9304	51,46	1,69	0,04	168,5	19,05	63997,82	18191,70	160
‘F21’	2x	14,22	1,34	21,62	9,68	15,04	3,15	199,8839	104,16	1,91	0,03	213	0,01	47602,90	7510,91	170
‘Orelha de Onça’	2x	13,80	1,64	20,60	1,94	16,18	2,25	180,8784	35,51	1,00	0,21	78	30,02	15281,76	5122,99	80
‘O. E. M Lisa’	2x	13,80	1,09	21,80	3,70	13,11	1,53	191,8752	44,89	0,76	0,04	29	2,30	4620,55	1315,77	90
‘F21 SEMENTES’	2x	15,10	2,26	35,50	5,07	14,19	1,85	342,5023	87,14	1,25	0,01	177,5	14,43	55380,26	17005,48	194
‘F21 Cultura de tecido 6’	2x	12,32	1,08	18,42	2,28	8,05	1,90	144,0457	25,71	0,68	0,08	78,5	5,19	11106,73	328,64	150
<i>Opuntia atropes</i> Rose																
‘F8’	2x	17,24	3,65	26,14	6,03	14,53	2,02	292,1787	120,38	1,88	0,11	361,5	15,58	118430,37	69919,45	200
‘F24’	2x	13,48	1,76	23,52	5,91	13,70	4,23	205,0233	74,93	1,25	0,16	50	15,01	9311,25	62,39	90
<i>O. ficus-indica</i>																
‘Gigante’	8x	21,10	2,30	42,10	6,26	20,24	2,51	567,4728	139,69	2,04	0,07	86	5,77	59714,04	2011,43	208
‘Redonda’	8x	22,48	2,33	29,80	4,77	19,62	2,41	428,1042	111,38	1,31	0,21	78,5	7,50	37404,28	14869,80	210
‘Clone 20’	8x	27,82	0,93	35,12	2,12	22,70	2,30	616,9445	32,09	1,58	0,04	67,5	27,13	40020,92	15894,96	250
‘IPA 98/T51 F3’	8x	22,00	5,24	39,20	6,22	15,79	5,88	553,7584	197,60	1,84	0,02	73,5	0,57	47015,11	18376,35	190
‘IPA 98/T23’	8x	18,00	1,87	30,60	3,36	16,45	8,27	350,7600	71,77	1,75	0,08	73,5	0,57	29939,73	3465,68	198
<i>O. larreyi</i> F.A.C.																
‘V19’	4x	27,82	0,93	34,40	1,83	22,70	2,30	604,1882	22,25	2,03	0,31	51,5	14,43	30549,84	8403,83	110

<i>O. stricta</i> (Haw)																
‘Orelha de E. M’	4x	29,60	1,81	36,80	2,94	15,15	2,81	690,2704	89,26	1,75	0,10	276	4,61	193477,95	28881,40	300
<i>O. undulata</i> Griffiths																
‘Orelha de E. A’	2x	26,80	3,76	36,40	3,97	18,38	5,12	618,2224	120,62	1,21	0,02	47	16,16	31940,96	17471,80	140
‘CLONE 6 O.E.A’	4x	24,04	4,13	45,50	6,07	17,98	5,36	699,8376	186,81	1,37	0,04	30,5	1,73	16780,08	3829,63	160
‘Clone 9 O.E.A’	4x	20,80	2,28	36,00	5,52	15,58	2,34	479,0560	119,12	1,24	0,07	39,5	6,35	19151,49	9608,89	155
<i>Opuntia</i> sp																
‘Chilly Fruit’	8x	18,70	4,49	38,06	7,69	17,09	2,02	463,4456	188,13	1,25	0,30	10	0,02	6572,80	437,86	140
‘Algerian’	8x	16,20	2,58	48,80	5,40	17,43	1,69	502,0608	109,93	1,89	0,09	31,5	6,35	14672,51	1443,48	130
‘Liso Forrageiro’	8x	20,52	1,63	33,26	4,41	28,54	3,89	432,0390	72,29	1,42	0,04	25,5	1,73	9205,68	610,27	80
‘V23’	8x	25,70	2,35	44,96	2,94	19,88	1,56	731,0268	89,91	1,82	0,06	98	18,47	69244,37	20924,36	185

Em virtude da ocorrência de correlação entre as variáveis quantitativas e o nível de ploidia, as 24 cultivares analisadas foram distribuídas em três grupos com base nos números de cromossomos: diploides, tetraploides e octaploides. A ANOVA revelou que houve variação significativa entre os grupos em relação a largura ( $F = 23,04$ ;  $P = 0,01$ ), comprimento ( $F = 4,15$ ;  $P = 0,01$ ), espessura ( $F = 8,28$ ;  $P = 0,00$ ) e área do cladódio ( $F = 27,50$ ;  $P = 0,01$ ), altura ( $F = 3,44$ ;  $P = 0,04$ ) e número de cladódios ( $F = 7,99$ ;  $P = 0,01$ ) (Tabela 3). Não houve variação significativa entre os grupos para área fotossintética total ( $F = 0,33$ ;  $P = 0,71$ ) e produtividade ( $F = 0,79$ ;  $P = 0,46$ ).

O teste de Tukey revelou que os poliploides são superiores aos diploides em relação a largura, comprimento e área do cladódio, não havendo diferença significativa entre tetraploides e octaploides (Tabela 3). Em relação a espessura e a altura, apenas os octaploides são superiores aos diploides, enquanto os tetraploides não apresentaram variação significativa em relação aos diploides e octaploides (Tabela 3). Por outro lado, em relação ao número de cladódios, os diploides foram superiores aos poliploides, enquanto tetraploides e octaploides não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

**Tabela 3.** ANOVA e teste de Tukey para as variáveis quantitativas (Largura, Comprimento, Espessura, Área do cladódio, Altura, Número de cladódios, Área fotossintética total, Produtividade) em relação aos três diferentes níveis de ploidia das cultivares pertencentes aos gêneros *Nopalea* e *Opuntia*: diploides ( $2n = 2x = 22$ ), tetraploides ( $2n = 4x = 44$ ) e octaploides ( $2n = 8x = 88$ ).

Variável	Ploidia	Média + SD	ANOVA	Tukey
Largura	Diploide	15,56 ± 4,79	F = 23,04	
	Tetraploide	22,46 ± 6,05	P = 0,01*	(8x = 4x) > 2x
	Octaploide	21,21 ± 4,19		
Comprimento	Diploide	27,59 ± 8,52	F = 4,15	
	Tetraploide	45,11 ± 53,16	P = 0,01*	(8x = 4x) > 2x
	Octaploide	38,54 ± 7,63		
Espessura	Diploide	15,37 ± 4,71	F = 8,28	
	Tetraploide	16,93 ± 4,09	P = 0,00*	(8x = 4x), (4x = 2x), (8x > 2x)
	Octaploide	19,34 ± 5,21		
Área do cladódio	Diploide	284,79 ± 158,90	F = 27,50	
	Tetraploide	521,44 ± 210,46	P = 0,01*	(4x = 8x) > 2x
	Octaploide	518,91 ± 152,18		
Altura	Diploide	1,39 ± 0,41	F = 3,44	
	Tetraploide	1,42 ± 0,42	P = 0,04*	(8x = 4x), (4x = 2x), (8x > 2x)
	Octaploide	1,67 ± 0,25		
Número de cladódios	Diploide	160,77 ± 10,66	F = 7,99	
	Tetraploide	72,75 ± 9,60	P = 0,01*	2x > (4x = 8x)
	Octaploide	61,50 ± 2,68		
Área fotossintética total	Diploide	45317.18 ± 40382.87	F = 0,33	
	Tetraploide	45192.12 ± 70821.42	P = 0,71 ns	2x = 4x = 8x
	Octaploide	34788.97 ± 22115.80		
Produtividade	Diploide	153.40 ± 40,44	F = 0,79	
	Tetraploide	162.14 ± 68,05	P = 0,46 ns	2x = 4x = 8x
	Octaploide	181.60 ± 46,94		

\*indica significância quando  $p < 0.05$

O teste de Correlação Phi-quadrado indicou uma forte correlação positiva entre adaptação a seca e o nível de ploidia das cultivares (Tabela 4). O teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), a correção V-square, e a correção de Yates indicaram que os poliploides são estatisticamente mais adaptados à seca quando comparados aos diploides (Tabela 4).

**Tabela 4.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias resistentes e não resistentes à seca. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação **Phi-quadrado**, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

Teste do qui-quadrado ( $X^2$ ) para Resistência a Seca			
	Frequências		
Categorias	Resistentes	Menos resistentes	Total de linhas
Diploides	0,07	0,31	0,38
Poliploides	0,59	0,03	0,62
Total de colunas	0,66	0,34	1
<b>Phi-quadrado</b>	<b>0.57</b>		
$X^2$ (df = 1)	15.56	P = 0.00*	
V-square (df = 1)	14.99	P = 0.00*	
Yates corrected Chi-square	12.41	P = 0.00*	

\*indica significância quando  $p < 0.05$

Para a resistência a cochonilha, o teste do Phi-quadrado indicou uma fraca correlação positiva em relação ao nível de ploidia (Tabela 5). O teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), a correção V-square, e a correção de Yates sugerem que os diploides são ligeiramente mais resistentes a cochonilhas do que os poliploides (Tabela 5). Em virtude da grande diferença nas frequências entre tetraploides e octaploides resistentes a cochonilha (frequência de octaploides resistentes à cochonilha = 0,00), os mesmos testes foram aplicados para comparar apenas os octaploides com os diploides (Tabela 6). Os resultados mostraram uma forte correlação positiva entre resistentes a cochonilhas e nível de ploidia das cultivares, sendo os diploides estatisticamente resistentes a cochonilha quando comparados aos octaploides pelos testes do qui-quadrado ( $X^2$ ), correção V-square, e a correção de Yates (Tabela 6).

**Tabela 5.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias resistentes e susceptíveis a Cochonilha. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação **Phi-quadrado**, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

Teste do qui-quadrado ( $X^2$ ) para Resistência a Cochonilha			
	Frequências		
Categorias	Resistentes	Susceptíveis	Total de linhas
Diploides	0,26	0,11	0,37
Poliploides	0,22	0,41	0,63
Total das colunas	0,48	0,52	1
<b>Phi-quadrado</b>	<b>0.23</b>		
$X^2$ (df = 1)	6.45	P = 0.01*	
V-square (df = 1)	6.22	P = 0.01*	
Yates corrected Chi-square	4.59	P = 0.03*	

\*indica significância quando  $p < 0.05$

**Tabela 6.** Frequências observadas de diploides e octaploides distribuídos nas categorias resistentes e susceptíveis a Cochonilha. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação **Phi-quadrado**, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

Teste do qui-quadrado ( $X^2$ ) para Resistência a Cochonilha			
	Frequências		
Categorias	Resistentes	Susceptíveis	Total de linhas
Diploides	0,35	0,15	0,50
Octaploides	0,00	0,50	0,50
Total das colunas	0,35	0,65	1
<b>Phi-quadrado</b>	<b>0.54</b>		
$X^2$ (df = 1)	10.77	P = 0.00*	
V-square (df = 1)	10.23	P = 0.00*	
Yates corrected Chi-square	7.91	P = 0.00*	

\*indica significância quando  $p < 0.05$

Em relação a quantidade de espinhos, o teste de correlação Phi-quadrado revelou não haver correlação com o nível de ploidia (Tabela 7). Além disso, os testes qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates apontaram não haver diferença estatisticamente significativa entre diploides e poliploides em relação a quantidade de espinhos (Tabela 7).



**Tabela 7.** Frequências observadas de diploides e poliploides distribuídos nas categorias “muito espinho” e “pouco espinho”. Também são apresentados os valores para o teste de Correlação **Phi-quadrado**, o teste do qui-quadrado ( $X^2$ ), V-square, correção de Yates.

Teste do qui-quadrado ( $X^2$ ) para quantidade de espinho			
	Frequências		
Categorias	Muito	Pouco	Total de linhas
Diploides	0,04	0,33	0,37
Poliploides	0,15	0,48	0,63
Total das colunas	0,19	0,81	1
<b>Phi-quadrado</b>	<b>0.03</b>		
$X^2$ (df = 1)	0.76	P = 0.38	
V-square (df = 1)	0.74	P = 0.39	
Yates corrected Chi-square	0.13	P = 0.71	

\*indica significância quando  $p < 0.05$

#### 4. DISCUSSÃO

As contagens cromossômicas apresentadas aqui estão em concordância com o número básico  $x = 11$  estabelecido para a família (PINKAVA et al., 1985; COTA; PHILBRICK, 1994; LAS PEÑAS et al., 2008), tanto para os diploides quanto para os poliploides. Estes dados corroboram a estabilidade do número básico para a família Cactaceae, bem como evidenciam a importância da poliploidia para a evolução do grupo (CASTRO et al., 2016). A principal implicação da estabilidade cromossômica em Cactaceae para os estudos de evolução cromossômica é o estabelecimento seguro do nível de ploidia para os representantes da família.

O padrão de bandas CMA<sup>+</sup> terminais observado nas cultivares analisadas no presente trabalho é comum em Cactaceae (LAS PEÑAS et al., 2014; MORENO et al., 2015) e em outras espécies de *Opuntia* (CASTRO et al., 2016). Bandas terminais CMA<sup>+</sup> em Cactaceae parecem constituir um tipo de heterocromatina rica em GC relacionada às regiões organizadoras do nucléolo (RONs), sendo o sítio preferencial para a ocorrência dos genes ribossomais 18S–5,8S–26S (LAS PEÑAS et al., 2014; MORENO et al., 2015; CASTRO et al., 2016). É possível que este padrão de bandas terminais CMA<sup>+</sup> seja uma característica simplesiomórfica em Cactaceae, ocorrendo em representantes de clados mais basais e que se manteve conservado nos clados mais derivados (NYFFELER et al.,

2002; EDWARDS et al., 2005; LAS PEÑAS et al., 2014; MORENO et al., 2015; CASTRO et al., 2016).

Nas cultivares diploides de *Nopalea cochenillifera*, o número de bandas CMA<sup>+</sup> terminais foi mais variável (duas a quatro bandas) do que em *Opuntia*, cujas cultivares diploides apresentaram apenas duas bandas. Em *N. cochenillifera*, por outro lado, as cultivares que apresentaram três bandas CMA<sup>+</sup> terminais foram as únicas que apresentaram uma banda puntiforme CMA<sup>+</sup> claramente intercalar. Nestas cultivares, ocorre um par de bandas CMA<sup>+</sup> terminais maiores, e uma banda terminal bastante discreta, que pode ser homóloga da banda CMA<sup>+</sup> intercalar. A ocorrência desta banda CMA<sup>+</sup> intercalar pode ser consequência de uma alteração cromossômica recente, muito provavelmente uma inversão paracêntrica em heterozigose, que poderia ter mudado a posição de uma pequena banda CMA<sup>+</sup> terminal para a posição intercalar, originando um par cromossômico heteromórfico. Um exemplo clássico de inversão envolvendo bandas CMA<sup>+</sup> associadas a RONS, na origem do heteromorfismo do par cromossômico I em *Eleutherine bulbosa*, foi cuidadosamente investigado por Guerra (1988). Inversões são comuns em plantas e, apesar de estarem relacionadas à redução da recombinação em heterozigotos e especiação, o significado evolutivo destes eventos não estão completamente compreendidos (KIRKPATRICK, 2010; HIMMELBACH et al., 2018). Translocações também podem estar envolvidas na origem desta banda CMA<sup>+</sup> intercalar em *N. cochenillifera*, e o fato de não haver registro de bandas CMA<sup>+</sup> intercalares em Cactaceae corrobora estas hipóteses.

A variação no número de bandas terminais observada nas espécies poliploides nem sempre coincidiu com o nível de ploidia. Apesar da tendência de tetraploides apresentarem quatro bandas CMA<sup>+</sup> terminais, alguns tetraploides apresentaram apenas duas bandas e todos os octaploides apresentaram quatro bandas, sugerindo que algum mecanismo não aleatório está atuando na limitação do número de RONS. Este padrão no número de bandas CMA<sup>+</sup> terminais associadas às RONS também foi observado em outras espécies de Cactaceae (MORENO et al., 2015) e em outras espécies de *Opuntia* CASTRO et al., 2016).

Após a duplicação do genoma, muitas espécies de angiospermas passam por um conjunto de reorganizações no genoma, denominado de diploidização (JIAO et al., 2011; MANDÁKOVA; LYSACK, 2018). A diploidização resulta na eliminação de diversas sequências redundantes, culminando na redução do tamanho do genoma, bem como em uma organização genômica semelhante à condição diploide anterior (RENNY-BYFIELD

et al., 2013). Este processo pode estar relacionado à manutenção de um número limitado de RONS em *Opuntia*, especialmente em octaploides, bem como explicaria a relação pouco clara entre nível de ploidia e tamanho do genoma observada no gênero (SEGURA et al., 2007; MAJURE et al., 2012).

Heterocromatina CMA<sup>+</sup> também foi observada nas regiões pericentroméricas de algumas cultivares de *N. cochenilifera* e em duas espécies de *Opuntia*. Bandas CMA<sup>+</sup> pericentroméricas já foram registradas em *Opuntia ficus-indica*, bem como em outras espécies de Cactaceae, e não estão associadas a sítios de DNAr (LAS PEÑAS et al., 2014; CASTRO et al., 2016). É possível que a heterocromatina pericentromérica em Cactaceae seja composta por outra família de sequências de DNA repetitivo rica em GC, diferente das sequências heterocromáticas encontradas nas RONS. A ocorrência de bandas CMA<sup>+</sup> pericentroméricas em algumas espécies de *Opuntia* e em outras não, pode ser consequência da falta de resolução da técnica em detectar regiões heterocromáticas com densidade menor quando comparadas as regiões terminais. Para *O. ficus-indica*, por exemplo, bandas CMA pericentroméricas foram observadas por Castro et al. (2016) na maioria dos cromossomos da cultivar “Gigante”, porém não foram observadas na presente amostra.

Diversas características morfológicas, tanto quantitativas quanto qualitativas, estão correlacionadas com a poliploidia. A correlação positiva observada entre a largura, o comprimento e a área do cladódio com o nível de ploidia das cultivares analisadas corroboram as diversas evidências disponíveis na literatura (COHEN; TEL-ZUR, 2012), cujas cultivares poliploides são significativamente superiores aos diploides. Para a espessura do cladódio, apenas os octaploides foram superiores aos diploides. Frequentemente, o aumento correspondente no tamanho celular que acompanha a poliploidização resulta no aumento geral do tamanho dos órgãos e tecidos (COHEN; TEL-ZUR, 2012). Linhagens poliploides exibem características melhoradas quando comparadas as suas contrapartes diploides, como por exemplo, aumento no diâmetro das flores e do pólen, aumento no tamanho dos frutos e sementes, índice foliar, tamanho e número de estômatos, número e tamanho de células guardas (ZHANG et al., 2009; LI et al., 2010; MONAKHOS et al., 2014; YE et al., 2016).

Dentre as características analisadas aqui, o comprimento e a área do cladódio variaram consideravelmente entre cultivares e dentro das cultivares, indicando que fatores genéticos e/ou ambientais podem estar atuando de forma independente da ploidia. Além disso, o comprimento e a área do cladódio apresentam uma elevada correlação positiva

entre si ( $r = 0,71$ ; dados não apresentados), ou seja, a seleção aplicada ao comprimento do cladódio pode também afetar a área do cladódio. Observações semelhantes foram obtidas para algumas características quantitativas e qualitativas em Kiwi (*Actinidia chinensis* var. *chinensis* e *A. chinensis* var. *deliciosa*) (LI et al., 2010). Apesar de haver uma clara variação estatisticamente significativa entre os diferentes níveis de ploidia, é possível que estas características também apresentem uma elevada herdabilidade independente da ploidia, ou seja, a criação de novas cultivares deve considerar não apenas os diferentes níveis de ploidia, mas também devem se basear nas características dos parentais.

Algumas características não apresentaram correlação (ou a correlação foi negligenciável) com o nível de ploidia, como a produtividade, altura e a área fotossintética total. Enquanto a produtividade e a área fotossintética total variaram consideravelmente dentro de cada cultivar, a altura parece ser bastante homogênea dentro e entre as cultivares. Apesar da ausência de correlação entre a altura e nível de ploidia, o teste de Tukey evidenciou que os octaploides são superiores aos diploides. Estes resultados podem ser apenas uma consequência direta do aumento do volume celular em decorrência de oito cópias do genoma no mesmo núcleo, mas não apresenta uma influência genética aditiva na altura quando relacionada a níveis de ploidia inferiores a octaploides.

A forte correlação negativa entre o número de cladódios e elevados níveis de ploidia pode ser consequência direta da poliploidia no processo de divisão celular. Apesar de poliploides geralmente apresentarem plantas maiores (efeito gigas), espessas, bem como um aumento no diâmetro de flores e frutos, também se observa em muitas espécies uma redução na taxa de crescimento, redução no tamanho dos entrenós, no número de flores, dentre outras (TE BEEST et al., 2012; YILDIZ, 2013). A principal implicação para isto é que as cultivares diploides tendem a apresentar um maior número de cladódios em comparação com tetraploides e octaploides. Esta característica pode ser resultado de taxas menores de divisão celular, especialmente pelo fato de que espécies poliploides demandam mais tempo para a replicação e organização dos cromossomos na mitose e meiose (TATE et al., 2005). Por outro lado, a mudança no número de cópias de certos genes, como consequência da poliploidia, pode resultar em características fenotípicas transgressivas, diferentes padrões de metilação do DNA, ou fornecer matéria prima para a evolução de novidades funcionais, que podem resultar em uma morfologia consideravelmente diferente dos diploides relacionados (JIAO et al., 2011; GODFREE et al., 2017).

Em plantas, de uma forma geral, espécies poliploides tendem a ocorrer em ambientes com baixas temperaturas anuais, baixa sazonalidade de precipitação e elevada continentalidade (STEBBINS, 1971; CARTA et al., 2018). Contudo, o sucesso adaptativo de poliploides tem sido registrado para espécies que ocorrem em condições de elevadas temperaturas anuais e forte estresse hídrico (FELIX; GUERRA, 2010; GODFREE et al., 2017), inclusive em Cactaceae (NEGRÓN-ORTIZ et al., 2007; PALOMINO et al., 2016).

As cultivares poliploides analisadas no presente trabalho, são mais resistentes ao estresse hídrico do que as cultivares diploides, e esta parece ser uma característica adaptativa na subfamília Opuntioideae, com poliploidia registrada para 65% das espécies com contagens prévias (CASTRO et al., submetido; NEGRÓN-ORTIZ et al., 2007). É possível que a resistência ao estresse hídrico esteja relacionada ao efeito da poliploidia no aumento do volume celular, e consequentemente na eficiência do uso da água. Poliploides diferem de suas contrapartes diploides em suas relações hídricas, incluindo resistência à seca, por apresentarem estômatos maiores e em menor quantidade, resultando em baixas taxas de transpiração e perda reduzida da água em diversas espécies vegetais (TE BEEST et al., 2012; YILDIZ, 2013; NIIMI et al., 2015; BAKER et al., 2017).

Resistência e tolerância são dois tipos de fenótipos de defesa que as plantas podem expressar para reduzir o dano ou o efeito negativo do dano por herbivoria, respectivamente (HAKES; CRONIN, 2012). Diversos mecanismos de defesa contra insetos têm sido sugeridos em Cactaceae, tais como a presença de espinhos, de cutícula espessa, presença de drusas intracelulares, espessura da hipoderme, bem como compostos químicos tóxicos do córtex, tais como alcaloides e mucilagem (ABREU et al., 2012). Evidências sugerem que o principal mecanismo relacionado à resistência a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) em *Opuntia undulata* é a espessura da cutícula e epiderme (PASSOS DA SILVA et al., 2009). Cultivares diploides e tetraploides de *Opuntia undulata* investigadas aqui apresentam resistência a cochonilha do carmim, não sendo conhecidas cultivares octaploide resistentes. Para as espécies analisadas aqui, as cultivares diploides são mais resistentes ao ataque de cochonilhas do carmim do que as cultivares poliploides. De fato, nossos dados revelaram que as cultivares octaploides analisadas são todas susceptíveis a cochonilha do carmim, enquanto a maioria das cultivares tetraploides são resistentes. A maioria das cultivares diploides utilizadas no presente trabalho pertence à espécie *Nopalea cochenillifera*, para a qual não há registros de susceptibilidade a cochonilha do carmim.

É possível que elevados níveis de ploidia, como observados nos octaploides em *Opuntia*, provoque uma redução na cutícula e nas camadas da epiderme, tornando estas cultivares mais susceptíveis ao ataque da cochonilha do carmim. Em *Arabidopsis*, a poliploidia provoca um aumento na expansão celular que excede a taxa de deposição da cutícula, bem como provoca uma perturbação na regulação dos genes que codificam as proteínas LTP (proteínas de transferência de lipídios), que estão envolvidos na formação da cutícula (NARUKAWA et al., 2016). Esta pode ser a causa da elevada susceptibilidade dos octaploides a cochonilha do carmim em *Opuntia*, porém esta hipótese precisa ser cuidadosamente investigada.

## 5. CONCLUSÕES

As sete cultivares de *Nopalea cochonilifera* são diploides, enquanto as cultivares de *Opuntia* apresentaram três diferentes níveis de ploidia: três são diploides, quatro são tetraploides e 10 são octaploides;

As cultivares de *Nopalea* e *Opuntia* apresentam dois tipos de heterocromatina rica em GC: o primeiro forma bandas CMA<sup>+</sup> terminais em todas as cultivares, e provavelmente estão relacionadas as RONS, e o segundo forma bandas CMA<sup>+</sup> pericentroméricas que foram observadas em oito cultivares;

Uma vez que não há variação dispoloide dentre as cultivares de *Nopalea* e *Opuntia*, o nível de ploidia das cultivares pode ser facilmente identificado pela razão entre o número de cromossomos do cariótipo e o número básico  $x = 11$ ;

Os padrões e o número de bandas CMA<sup>+</sup> não é um marcador adequado para inferir o nível de ploidia das cultivares;

A largura, comprimento e a área do cladódio estão positivamente correlacionadas com o nível de ploidia das cultivares, sendo as cultivares poliploides significativamente superiores às cultivares diploides;

Apenas os octaploides foram superiores aos diploides em relação à espessura do cladódio;

A produtividade, altura e a área fotossintética total não apresentaram correlação (ou a correlação foi negligenciável) com o nível de ploidia das cultivares;

Apesar da ausência de correlação entre a altura e nível de ploidia, as cultivares octaploides são superiores as cultivares diploides;

Há uma forte correlação negativa entre o número de cladódios e os níveis de ploidia das cultivares, resultando em uma relação inversamente proporcional – quanto maior o nível de ploidia, menor o número de cladódios;

As cultivares poliploides são mais resistentes ao estresse hídrico do que as cultivares diploides;

Há uma forte correlação positiva entre a resistência à cochonilha do carmim e baixos níveis de ploidia, quando comparadas as cultivares diploides e octaploides.

## 6. REFERÊNCIAS

ABREU, D. D.; ARRUDA, E.; MELO-DE-PINA, G. F. A.; COTA-SÁNCHEZ J. H. Morphology and Anatomy of Stem Mines in *Cipocereus minensis* (Wender.) Ritter (Cactaceae), an Endemic Species to Eastern Brazil. **Haseltonia**, v. 2012, n. 17, p. 42-50, 2012.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1-20, 2016.

BÁRCENAS, R. T.; YESSON, C.; HAWKINS, J. A. Molecular systematics of the Cactaceae. **Cladistics**, v. 27, n. 5, p. 470-489, 2011.

BAKER, R. L.; YARKHUNOVA, U.; VIDAL, K.; EWERS, B. E.; WEINIG, C. Polyploidy and the h/ h<sub>2</sub> relationship between leaf structure and function: implications for correlated evolution of anatomy, morphology, and physiology in *Brassica*. **BMC Plant Biology**, v. 17, n. 1, p. 1-12, 2017.

BARROS E SILVA, A.E.; GUERRA, M. The meaning of DAPI bands observed after C-banding and FISH procedures. **Biotechnic & Histochemistry**, v. 85, n. 2, p. 115-125. 2010.

BEKER, M. A.; REBMAN, J.; PARFITT, B. D.; PINKAVA, D. J. ZIMMERMAN, A. D. Chromosome Numbers in Some Cacti of Western North America-VIII. **Haseltonia**, v. 15, p. 117-134, 2009.

CARTA, A.; BEDINI, G.; PERUZZI, L. Unscrambling phylogenetic effects and ecological determinants of chromosome number in major angiosperm clades. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 14258-14278, 2018.

CASTRO, J. P.; SOUZA, L. G. R.; ALVES, L. F.; SILVA, A. E. B.; GUERRA, M.; FELIX, L. P. In MARHOLD, K (ed) IAPT/IOPB chromosome data 15. **Taxon**, v. 62:1073, 2013.

CASTRO, J. P.; MEDEIROS NETO, E.; SOUZA, G.; ALVES, L. I. F.; BATISTA, F. R. C.; FELIX, L. P. CMA band variability and physical mapping of 5S and 45S rDNA

sites in Brazilian Cactaceae: Pereskioideae and Opuntioideae. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 2, p. 613-620, 2016.

CHRISTENHUSZ, M.; FAY, M.; CHASE, M. W. **Plants of the World: An Illustrated Encyclopedia of Vascular Plants**. University of Chicago Press, 816p. 2017.

COHEN, H.; TEL-ZUR, N. Morphological changes and self-incompatibility breakdown associated with autopolyploidization in *Hylocereus* species (Cactaceae). **Euphytica**, v. 184, n. 3, p. 345-354, 2012.

COTA, J. H.; PHILBRICK, T. Chromosome Number Variation and Polyploidy in the Genus *Echinocereus* (Cactaceae). **American Journal of Botany**, v. 81, n. 8, p. 1054-1062, 1994.

DODSWORTH, S.; CHASE, M. W.; LEITCH, A. R. Is post-polyploidization diploidization the key to the evolutionary success of angiosperms? **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 180, n. 1, p. 1-5, 2016.

EDWARDS, E. J.; NYFFELER, R.; DONOGHUE, M. J. Basal cactus phylogeny: implications of *Pereskia* (cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 7, p. 1177-1188, 2005.

FELIX, L.P.; GUERRA, M. Variation in chromosome number and the basic number of subfamily Epidendroideae (Orchidaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 163, n. 2, p. 234-278. 2010.

GALLEGOS-VÁZQUEZ, C.; CERVANTES-HERRERA, J.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. Manual Gráfico para la descripción varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.). Serviço Nacional de Inspección de Semillas – Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SNICS – SAGARPA) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACg). Chapingo, México, 2005, 116p.

GODFREE, R. C.; MARHALL, D. J.; YOUNG, A. G.; MILLER, C. H.; MATHEWS, S. Empirical evidence of fixed and homeostatic patterns of polyploid advantage in a keystone grass exposed to drought and heat stress. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 11, p. 1-12, 2017.

GUERRA, MS.1988. **Introdução a Citogenética Geral**. Guanabara: Rio de Janeiro.

GUERRERO, P.C.; MAJURE, L.C.; CORNEJO-ROMERO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, T. Phylogenetic Relationships and Evolutionary Trends in the Cactus Family. **Journal of Heredity**, v. 110, n. 1, p. 4-21, 2019.

GUTIÉRREZ-FLORES, C.; LUZ, J. L. L. LEÓN. F. J. G. D.; COTA-SÁNCHEZ. J. H. Variation in chromosome number and breeding systems: implications for diversification in *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). **Comparative Cytogenetics**, v. 12, n. 1, p. 61-82, 2018.

HAKES, A. D.; CRONIN, J. T. Successional changes in plant resistance and tolerance to herbivory. **Ecology**, v. 93, n. 5, p. 1059-1070, 2012.



HIMMELBACH, A.; RUBAN, A.; WALDE, I.; SIMKOVÁ, H.; DOLEZEL, J.; HASTIE, A.; STEIN, N.; MASCHER, M. Discovery of multi-megabase polymorphic inversions by chromosome conformation capture sequencing in large genome plant species. **The Plant Journal**, v. 96, n. 6, p. 1309-1316, 2018.

INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.; SÁENZ, C. Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 2017.

JIAO, Y.; WICKETT, N. J.; AYYAMPALAYAM, S. CHANDERBALI, A.; LANDHERR, L.; RALPH, P. E.; TOMSHO, L. P.; HU, Y.; LIANG, H.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E.; CLIFTON, S. W.; SCHLARBAUM, S. E.; SCHUSTER, S. C.; MA, H.; EEBENS-MACK, J.; DEPAMPHILIS, C. W. Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms. **Nature**, v. 473, n. 7345, p. 97-102, 2011.

KIRKPATRICK, M. How and Why Chromosome Inversions Evolve. **PLoS Biology**, v. 8, n. 9, p. 1-5, 2010.

LAS PEÑAS, M. L.; URDAMPILLETA, J. D.; LÓPEZ-CARRO, B.; SANTIÑAQUE, F.; KIESLING, R.; BERNARDELLO, G. Classical and molecular cytogenetics and DNA content in *Maihuenia* and *Pereskia* (Cactaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 300, n. 3, p. 549-558, 2014.

LAS PEÑAS, M. L.; BERNARDELLO, G.; KIESLING, R. Karyotypes and fluorescent chromosome banding in *Pyrrhocactus* (Cactaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 272, n. 1-4, p. 211-222, 2008.

LEITCH, A. R.; LEITCH, I. J. Genomic Plasticity and the Diversity of Polyploid Plants. **Science**, v. 320, n. 5875, p. 480-484, 2008.

LI, D.; ZHONG, C.; LIU, Y.; HUANG, H. Correlation between ploidy level and fruit characters of the main kiwifruit cultivars in China: Implication for selection and improvement. **Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 38, n. 2, p. 137-145, 2010.

LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) resistentes a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v.7, n. 1, p. 204-215, 2010

MAJURE, L. C.; PINKAVA, R. P. D. J. Miscellaneous Chromosome Numbers in *Opuntia* Dc. (Cactaceae) with a Compilation of Counts for the Group. **Haseltonia**, v. 18, 67-78, 2012.

MANDÁKOVÁ, T.; LYSÁK, M. A. Post-polyploid diploidization and diversification through dysploid changes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 42, p. 55-65, 2018.

- MONAKHOS, S. G.; NGUEN, M. L.; BEZBOZHNYA, A. V.; MONAKHOS, G. F. A relationship between ploidy level and the number of chloroplasts in stomatal guard cells in diploid and amphidiploid *Brassica* species. **Agricultural Biology**, v. 5, p. 44-54, 2014.
- MORENO, N. C.; AMARILLA, L. D.; LAS PEÑAS, M. L.; BERNARDELLO, G. Molecular cytogenetic insights into the evolution of the epiphytic genus *Lepismium* (Cactaceae) and related genera. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 177, n. 2, p. 263-277, 2015.
- NARUKAWA, H.; YOKOYAMA, R.; NISHITANI, K. Possible pathways linking ploidy level to cell elongation and cuticular function in hypocotyls of dark-grown *Arabidopsis* seedlings. **Plant Signaling & Behavior**, v. 11, n. 2, p. 1-4, 2016.
- NEGRÓN-ORTIZ, V. Chromosome numbers, nuclear DNA content, and polyploidy in *Consolea* (Cactaceae), an endemic cactus of the Caribbean Islands. **American Journal of Botany**, v. 94, n. 8, p. 1360-1370, 2007.
- NIIMI, H.; WATANABE, M.; SERIZAWA, H.; KOBAYASHI, T.; NAKAMURA, I.; MII, M. Amiprophosphomethyl-induced efficient *in vitro* production of polyploids in aphanobrassica with the aid of aminoethoxyvinylglycine (AVG) in the culture medium. **Breeding Science**, v. 65, n. 5, p. 396-402, 2015.
- NYFFELER, R. Phylogenetic relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence from trnK/ matK and trnL-trnF sequences. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 2, p. 312-326, 2002.
- OLIVEIRA, L. F. M. **Etiologia da mancha marrom da Palma (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), resistência de genótipos e efeito da temperatura e umidade sobre a doença**. 72f, 2016. Tese de doutorado, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Rio Largo, AL.
- PALOMINO, G.; MARTÍNEZ, J.; MÉNDEZ, I.; MUÑOZ-URÍAS, A.; CEPEDA-CORNEJO, V.; PIMIENTA-BARRIOS, E. Nuclear genome size, ploidy level and endopolyploidy pattern in six species of *Opuntia* (Cactaceae). **Caryologia: International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics**, v. 69, n. 1, p. 82-89, 2016.
- PASSOS DA SILVA, D. M.; KIDO, L. M. H.; SANTOS, D. C.; GONÇALVES FERREIRA, R.; FELIPE DOS SANTOS, V.; MELO FERREIRA, W.; SENA TABOSA, F. Resistance of in vitro grown forage cactus clones to *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). **Acta Horticulturae**, v. 811, p. 299-302, 2009.
- PINKAVA, D. J.; BAKER, M. A.; PARFITT, B. D.; MOHLENBROCK, M. W.; WORTHINGTON, R. D. Chromosome numbers in some cacti of western North America-V. **Systematic Botany**, v. 10, p. 471-483, 1985.
- REBMAN, J. P.; PINKAVA, D. J. *Opuntia* cacti of North America-an overview. **Florida Entomologist**, v. 84, n. 4, p. 474-483, 2001.

RENNY-BYFIELD, S.; KOVARIK, A.; KELLY, L. J.; MACAS, J.; NOVAK, P.; CHASE, M. W.; NICHOLS, R. A.; PANCHOL, M. R.; GRANDBASTIEN, M. A.; LEITCH, A. R. Diploidization and genome size change in allopolyploids is associated with differential dynamics of low- and high-copy sequences. **The Plant Journal**, v. 74, n. 5, p. 829-839, 2013.

SALES, A. T.; LEITE, M. L. M. V.; ALVES, A. Q.; RAMOS, J. P. F.; NASCIMENTO, J. P. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 1, p. 19-24, 2013.

SILVA, M. G. S.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ASSIS, C. D. L. C.; MOTA, D. L.; SILVA, L. L. S.; SANTOS, M. V. F.; SANTOS, D. C. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 6, p. 718-722, 2010.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira (Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48 p. (IPA. Documentos, 30).

SEGURA, S.; SCHEINVAE, L.; OLALDE, G.; LEBLANC, O.; FILARDO, S.; MURATALLA, A.; GALLEGOS, C.; FLORES, C. Genome sizes and ploidy levels in Mexican cactus pear species *Opuntia* (Tourn.) Mill. series *Streptacanthae* Britton et Rose, *Leucotrichae* DC., *Heliabravoanae* Scheinvar and *Robustae* Britton et Rose. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, n. 5, p. 1033-1041, 2007.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

STEBBINS, G. L. **Chromosomal evolution in higher plants**. E. Arnold, London, 1971

TATI, J. A.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E. Polyploidy in Plants. *Genome Biology and Evolution*, p. 371-426, 2005.

TE BEEST, M.; LE ROUX, J. J.; RICHARDSON, D. M.; BRYSTING, A. K.; SUDA, J.; KUBESOVA, M.; PYSEK, P. The more the better? The role of polyploidy in facilitating plant invasions. **Annals of Botany**, v. 109, n. 1, p. 19-45, 2012.

YE, Y. M.; TONG, J.; SHI, X. P.; YUAN, W.; LI, G. R. Morphological and cytological studies of diploid and colchicine-induced tetraploid lines of crape myrtle (*Lagerstroemia indica* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 124, n. 1, p. 95-101, 2010.

YILDIZ, M. Plant responses at different ploidy levels agricultural and biological sciences. **Current Progress in Biological Research**, Marina Silva-Opps, IntechOpen, 2013.

ZHANG, Q.; LUO, F.; LIU, L.; GUO, F. In vitro induction of tetraploids in crape myrtle (*Lagerstroemia indica* L.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 101, n. 1, p, 41-47, 2010.

### CAPÍTULO III

#### QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E PLÂNTULAS DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA ASSOCIADO AO SEU NÍVEL DE PLOIDIA

**RESUMO:** A palma forrageira é amplamente cultivada no Brasil, com maior evidência, na região Semiárida, sendo utilizada visando sua utilização na alimentação animal, em especial, na estação seca. Na literatura especializada, constata-se que essa cactácea possui número básico cromossômico de  $x=11$  e os poliploides são a principal variação. É propagada, quase sempre, via reprodução vegetativa, sendo a forma sexual pouco utilizada. Entretanto, deve-se levar em conta a propagação sexuada por apresentar variações genéticas, sendo um atributo importante para o melhoramento de plantas. Neste contexto, objetivou-se, nesta pesquisa, associar a biometria dos frutos, a qualidade fisiológica das sementes e plântulas de diferentes cultivares de palma forrageira com o nível de ploidia nas espécies *Opuntia* e *Nopalea*. As cultivares utilizadas foram: Diploides ( $2n=22$ ) - 'F8', 'F21' e 'IPA Sertânia'; Tetraploides ( $2n=44$ ) - 'Clone 6 Orelha de Elefante Africana', 'Orelha de Elefante Mexicana' e 'V19' e Octaploides ( $2n=88$ ) - 'Redonda', 'Gigante' e 'IPA Clone 20', todas coletadas na área de cultivo do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizado em Arcoverde-PE. A biometria de frutos foi determinada pelo peso de mil sementes, comprimento, diâmetro e número de sementes por fruto. A qualidade fisiológica foi avaliada pela emergência, primeira contagem da emergência, comprimento da parte aérea e da raiz, massa fresca e seca, condutividade elétrica, e nos cladódios, comprimento, largura, massa fresca e seca. Na análise estatística dos dados obtidos, utilizou-se um delineamento em esquema aninhado, sendo três níveis de ploidia e três cultivares dentro de cada nível. Constatou-se que o nível de ploidia influencia ( $p<0,05$ ) de forma positiva o número de sementes por fruto e a qualidade fisiológica das sementes e plântulas. Entretanto, as cultivares se comportam de maneira diferente ( $p<0,05$ ) dentro do mesmo nível de ploidia. O vigor e a emergência dos poliploides se sobressaem em relação aos diploides. Assim, no contexto fenotípico associado à genética da planta, observou-se que a cultivar 'IPA Sertânia' produz frutos mais pesados e vigorosos, enquanto a 'Orelha de Elefante Mexicana' origina cladódios mais pesados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diploides; *Opuntia ficus-indica*; Poliploides; Vigor

#### PHYSIOLOGICAL QUALITY OF FORAGE PALM SEEDS AND SEEDLINGS ASSOCIATED WITH ITS LEVEL OF PLOIDY

**ABSTRACT:** Forage palm is widely cultivated in Brazil with greater evidence in the Semi-arid region, being used for animal feed, especially in dry seasons. In the specialized literature, this cactus has a basic chromosomal number  $x = 11$  and polyploids are the main variation. It is almost always propagated via vegetative reproduction, and the sexual form is little used. However, sexual propagation should be taken into account because it presents genetic variations, being an important attribute for plant breeding. In this context, the objective of this research was to associate fruit biometrics, physiological quality of seeds and seedlings of different forage palm cultivars with ploidy level in *Opuntia* and *Nopalea* species. The cultivars used were: Diploids ( $2n = 22$ ) – 'F8', 'F21' and 'IPA

Sertânia’; Tetraploids ( $2n = 44$ ) – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, ‘Orelha de Elefante Mexicana’ and ‘V19’; and Octaploids ( $2n = 88$ ) - ‘Redonda’, ‘Gigante’ and ‘IPA Clone 20’, all collected in the cultivation area of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), located in Arcoverde-PE. Fruit biometry was determined by the weight of one thousand seeds, length, diameter and number of seeds per fruit. Physiological quality was evaluated by emergence, first emergence count, shoot and root length, fresh and dry mass, electrical conductivity, and in the cladodes, length, width, fresh and dry mass. In the statistical analysis of the obtained data, a nested scheme design was used, being three ploidy levels and three cultivars within each level. It was found that the ploidy level positively influences ( $p < 0.05$ ) the number of seeds per fruit and the physiological quality of seeds and seedlings. However, cultivars behave differently ( $p < 0.05$ ) within the same ploidy level. The vigor and emergence of polyploids stand out over diploids. Thus, in the phenotypic context associated with plant genetics, it was observed that the cultivar ‘IPA Sertânia’ produces heavier and more vigorous fruits, while ‘Orelha de Elefante Mexicana’ originates heavier cladodes.

**KEYWORDS:** Diploids; *Opuntia ficus-indica*; Polyploids; Vigor

## 1. INTRODUÇÃO

Na região Semiárida, em geral, os índices pluviométricos são baixos e mal distribuídos, déficit hídrico e evapotranspiração elevada. Comumente a produção e qualidade da massa verde diminuem durante o período de estiagem, pois há uma estreita relação entre a precipitação pluvial e a produção de forragem (ANDRADE et al., 2010), no entanto, as cactáceas em geral, são caracterizadas pela alta eficiência de uso da água, podendo habitar em ambientes com elevadas temperaturas, chuvas irregulares e baixa fertilidade natural do solo (WANDERLEY et al., 2017).

Dentre as cactáceas, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), nativa da América Central, e atualmente amplamente difundida na Espanha, Itália, Grécia, Portugal, Turquia e nas ilhas do Mediterrâneo (CASSAR et al., 2004; HAND et al., 2011; CELESTI-GRAPPOW et al., 2016; PUDDU et al., 2016) apresenta tolerância a seca, e consegue se desenvolver em regiões áridas e semiáridas. Isso se deve ao fato dessa cactácea possuir o processo fotossintético do Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), com a abertura dos estômatos a noite e mantidos fechados durante o dia, para evitar a perda de água (TAIZ et al., 2017).

O Brasil possui uma área de 500.000 ha plantada com palma forrageira, com predomínio das espécies pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (GUERRERO et al., 2018). Mais da metade dessa área é cultivada no semiárido nordestino, utilizada principalmente para alimentação de caprinos, ovinos e bovinos, em especial no período

de seca (PINHEIRO et al., 2014). Essas plantas produzem frutos em formato de baga, com coloração variando de amarelo, laranja, roxo ou vermelho de tamanho variado, dependendo da cultivar, sendo consumidos por pássaros, possuem elevada quantidade de sementes dispersas pela avifauna (SILVA et al., 2014a).

A família Cactaceae apresenta número básico cromossômico  $x=11$ , e a principal variação são os poliploides. Dentro do gênero *Opuntia*, as espécies podem ser diploides  $2n$ , e os poliploides são (triploides –  $3n$ , tetraploides –  $4n$  e octaploides –  $8n$ ) (MAJURE et al., 2012). Registro de poliploidia também é comum no gênero *Nopalea*, podendo ocorrer  $2n=4x=22$  até  $2n=4x=88$ , o que evidencia a evolução poliploide dos gêneros. Variações nos citótipos de ploidias são indícios de raças diferentes de uma mesma espécie (VASCONCELOS et al., 2011).

O cultivo de cactos geralmente é realizado via propagação vegetativa, sendo a forma sexuada um método ainda pouco utilizado devido à carência de informações nesta área de conhecimento. Na propagação sexuada, as plântulas crescem lentamente, mas as sementes podem ser produzidas em grande quantidade, além disso, podem proporcionar variações genéticas importantes, mantendo a diversidade genética de populações e espécies, apresentando diversas características morfológicas desejáveis, o que é bastante apreciado no melhoramento genético (ABUD et al., 2010). A variabilidade facilita os pesquisadores a selecionar genótipos com características desejáveis, como tolerância a diferentes fatores de estresse, produção de biomassa, tamanho superior das raquetes, qualidade dos frutos, resistência a cochonilha do carmim, etc., que podem ser utilizados para fins de reprodução (OCHOA et al., 2015).

O nível de ploidia pode ter ação direta sobre as características das sementes. Cota-Sánchez e Bomfim-Patrício (2010) observaram um aumento no tamanho das sementes relacionado ao nível de ploidia em *Rhipsalis*, tendo as populações poliploides da África expressão máxima. Assim, objetivou-se associar a biometria dos frutos, a qualidade física e fisiológica das sementes e plântulas de diferentes cultivares de palma forrageira com o nível de ploidia nos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia, PB. Os Frutos foram colhidos de palma forrageira pertencentes ao Instituto Agrônomo

de Pernambuco (IPA) na cidade de Arcoverde, PE (8°25'S; 37°05' W), altitude 680,70 m, temperatura média anual  $22,90 \pm 1,68$  °C, precipitação acumulada média anual de 798,1 mm, microrregião do sertão do Moxotó (INMET, 2015). As cultivares utilizadas para coleta dos frutos e análise das sementes foram submetidas a contagem do número de cromossomos no Laboratório de Citogenética Vegetal da mesma instituição (Tabela 1).

**Tabela 1.** Nome comum, espécie e número de cromossomos de cultivares de palma forrageira utilizadas no ensaio

Nome Comum	Espécie	2n
1 – 'F8'	<i>Nopalea cochenillifera</i>	22
2 – 'F21'	<i>Nopalea cochenillifera</i>	22
3 – 'IPA – Sertânia'	<i>Opuntia atropes</i> Rose	22
1 – 'Clone 6 Orelha de Elefante Africana'	<i>Opuntia</i> sp	44
2 – 'Orelha de Elefante Mexicana'	<i>Opuntia larreyi</i> F.A.C.	44
3 – 'V19'	<i>Opuntia stricta</i> (Haw)	44
1 – 'Redonda'	<i>Opuntia ficus-indica</i>	88
2 – 'Gigante'	<i>Opuntia ficus-indica</i>	88
3 – 'IPA Clone 20'	<i>Opuntia ficus-indica</i>	88

Para cada quatro plantas por cultivar foram colhidos quatro frutos por planta, sendo os mesmos, após a coleta, pesados em balança digital, acondicionados em caixa térmica e encaminhados ao LAS para proceder a avaliação da biometria e o beneficiamento. A biometria dos frutos foi aferida por meio da medição do comprimento e diâmetro com auxílio de um paquímetro digital de fibra de carbono, com o resultado expresso em cm.

Após beneficiados em água corrente com auxílio de peneira, foi contabilizado o número de sementes por fruto. As sementes foram secas em temperatura ambiente e armazenadas em pote de vidros durante dois meses, até a avaliação da qualidade física e fisiológica. O conteúdo de água das sementes foi calculado, utilizando-se quatro sub-



amostras de 10 g de sementes por cultivar, pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas, e o resultado expresso em g de água por kg de sementes. O peso de mil sementes foi calculado pesando-se oito repetições de 100 sementes de cada cultivar com os resultados expressos em gramas (BRASIL, 2009).

Para o teste de emergência foram utilizadas 100 sementes, divididas em quatro repetições de 25 sementes por cultivar, as quais foram semeadas em bandejas plásticas perfuradas no fundo (0,40 x 0,25 x 0,70 m), contendo areia lavada, previamente autoclavada. A porcentagem de plântulas emersas foi realizada aos 25 e 47 dias (GUEDES et al., 2009).

A quantidade de água utilizada para umedecer a areia foi de 60% da capacidade de campo, para isso pesou-se duas amostras de 500 g da areia previamente seca em estufa de circulação forçada de ar, e sobre um papel filtro foi adicionado 200 mL de água. Decorridos aproximadamente 15 minutos, todo o excesso de água foi drenado (70 mL), ficando retido na areia 130 mL. Por regra de três, e pela quantidade de areia que comporta a bandeja (10.000 g) foi possível calcular a quantidade de água que ficou retida em 100% da capacidade de capacidade de campo (2600 mL). Com esse valor, e por diferença foi calculada 60% da capacidade de campo, (1560 mL) que correspondeu à quantidade de água que foi adicionada à 10.000 g de areia. Para monitorar a capacidade de campo, as bandejas foram pesadas antes de efetuar a irrigação, verificando-se, assim, a quantidade de água necessária para atingir 60% da capacidade de campo.

A primeira contagem de emergência foi realizada em conjunto com o teste de emergência, contabilizando a porcentagem de plântulas normais aos 25 dias após a instalação do teste (GUEDES et al., 2009). Aos 90 dias após a semeadura as plântulas foram avaliadas por meio do comprimento da parte aérea e da raiz, com auxílio de uma régua graduada em cm. Em seguida com um paquímetro digital de fibra de carbono, foi mensurado o comprimento e a largura dos cladódios. As plântulas foram pesadas para obtenção da massa fresca, em seguida, acondicionadas em sacos de papel Kraft e postas para secar em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até peso constante. Posteriormente, realizou-se a pesagem das plântulas em balança analítica de precisão de 0,0001g, sendo os resultados expressos em g planta<sup>-1</sup>.

A condutividade elétrica foi mensurada utilizando-se quatro repetições de 25 sementes por cultivar, sendo estas previamente pesadas e colocadas em copos descartáveis de 200 ml contendo 75 mL de água destilada. Os copos foram mantidos a 25 °C por 24 horas para, a seguir, proceder-se a leitura com condutivímetro (VIEIRA;

KRZYZANOWSKI, 1999), de marca Marconi®, modelo MA-521, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ , dividindo-se a leitura pelo peso das sementes.

O delineamento experimental utilizado foi o Aninhado com dois fatores (nível de ploidia e cultivares dentro de ploidia). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, auxiliados pelo programa estatístico SAS® (CODY, 2015).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo de água das sementes de palma forrageira variou de 45 a 69 gramas de água por kg de sementes, nas cultivares tetraploides ‘V19’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ respectivamente, ou seja, ocorreu uma variação dentro do mesmo nível de ploidia (Tabela 2). Esses valores diferem dos encontrados por Souza et al. (2009) em que sementes de *Opuntia ficus-indica* submetidas a diferentes horas de fermentação, mantiveram a umidade praticamente constante durante todo o período (80 g de água por kg de sementes). O conteúdo de água sementes pode variar em função das condições de secagem, temperatura e umidade do ar, entre outros (MARCOS FILHO, 2015).

**Tabela 2.** Conteúdo de água em sementes de diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) utilizadas no ensaio

Cultivares	2n	Grau de umidade (g de água/kg de sementes)
‘IPA – Sertânia’	22	58
‘F21’	22	65
‘F8’	22	67
‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’	44	49
‘V19’	44	45
‘Orelha de Elefante Mexicana’	44	69
‘Redonda’	88	49
‘Gigante’	88	51
‘IPA Clone 20’	88	64

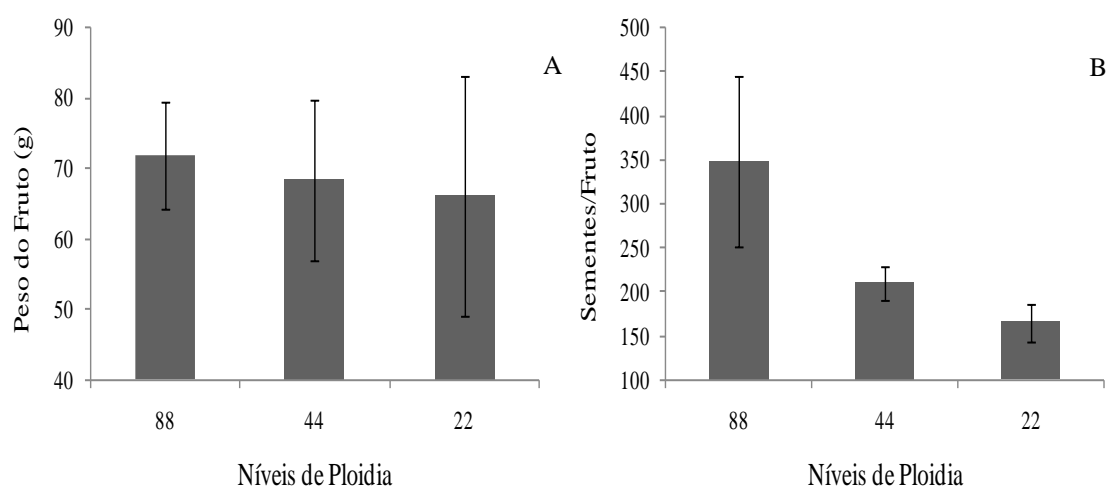
Com base no fator isolado, nível de ploidia, observa-se efeito significativo a 5% para as variáveis: número de sementes por fruto, peso de 1000 sementes, porcentagem de emergência, primeira contagem de emergência, massa fresca e seca de plântulas, comprimento, massa fresca e seca dos cladódios (TABELA 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as características peso dos frutos, número de sementes por fruto, comprimento dos frutos (CF), diâmetro dos frutos (DF), porcentagem de emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), peso de mil sementes, condutividade elétrica (CE), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa fresca de plântulas (MFPL), massa seca de plântulas (MSPL), comprimento do cladódio (CCL), largura do cladódio (LCL), massa fresca de cladódios (MFCL) e massa seca de cladódios (MSCL) de palma forrageira em função do nível de ploidia

FV	GL	QM							
		Peso dos Frutos (g)	Sementes/ Fruto	CF (mm)	DF (mm)	E (%)	PCE (%)	Peso de mil Sementes (g)	CE ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ )
Trat (Model)	8	1123,5435*	74277,2986*	143,8202 <sup>ns</sup>	90,9593 <sup>ns</sup>	784,7770*	132694,4440*	0,23566857*	2457332,94 <sup>ns</sup>
Ploidia	2	99,8606 <sup>ns</sup>	109178,1111*	76,336 <sup>ns</sup>	33,7062 <sup>ns</sup>	1452,4440*	2937777,7780*	0,16542386*	1213401,67 <sup>ns</sup>
Var (Ploidia)	6	1464,7711*	62643,6944*	166,315*	110,0437*	562,2200*	790000*	0,25908347*	2871976,69*
Erro	27	478,1429	2832,6389	65,4018	48,9654	150,074	49731,481	0,01800122	1447906,08
FV	GL	QM							
		CPA (cm)	CR (cm)	MFPL (g)	MSPL (g)	CCL (mm)	LCL (mm)	MFCL (g)	MSCL (g)
Trat (Model)	8	0,0618*	1,4577*	2,0572*	0,0231*	15,1228*	2,0409*	2,2086*	0,0088*
Ploidia	2	0,0224 <sup>ns</sup>	0,0392 <sup>ns</sup>	2,968*	0,0433*	22,6703*	0,8481 <sup>ns</sup>	3,0304*	0,0081*
Var (Ploidia)	6	0,0783*	1,9305*	1,7536*	0,0163*	12,507*	2,438*	1,9346*	0,009*
Erro	27	0,0189	0,5935	0,2367	0,0031	3,0552	0,527	0,4711	0,0019
Total	35								

\* significativo a 5% e ns - não significativo.

O peso dos frutos não diferiu entre o nível de ploidia, variando de 66,18 g nas cultivares diploides, 68,38 g nas tetraploides e 71,90 g nas octaploides (FIGURA 1A). Tais resultados discordam dos estudos realizados por Stebbins (1971) onde ocorreram modificações fenotípicas nos poliploides, tanto no tamanho dos frutos, das sementes e dos cladódios das populações selvagens e cultivadas de palma forrageira, sendo que essas diferenças podem ser em função do nível de ploidia, associadas as condições edafoclimáticas durante o cultivo.



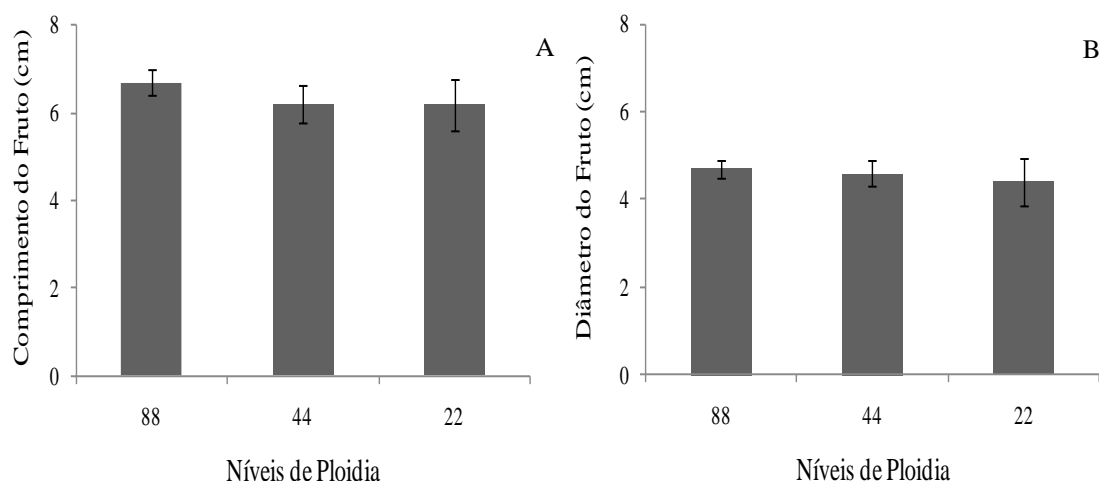
**Figura 1.** Peso dos frutos (A) e Número de Sementes/Fruto (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

O peso dos frutos obtido no presente estudo foi inferior aos observados por Oliveira et al. (2011) cuja caracterização físico-química e nutricional de frutos de palma (*O. ficus-indica*), cultivada no sertão do São Francisco, PE resultaram frutos com peso médio de 108 g. Vários fatores podem influenciar o peso dos frutos, como adubação, estágio de maturação, irrigação, condições climática, entre outros (NASCIMENTO et al., 2014).

Para a variável número de sementes por fruto houve diferença significativa para os níveis de ploidia (FIGURA 1B). As cultivares octaploides possuem em média 340 sementes, ou seja, maior quantidade de sementes, ocasionando, portanto, frutos mais pesados, diferindo das cultivares tetraploides (210 sementes) e diploides (165 sementes). O número de sementes por fruto é uma variável importante, pois está relacionada ao tamanho e qualidade dos frutos, como também ao rendimento da cultura. Como os frutos

de palma forrageira são consumidos no mundo inteiro (CHRISTENHUSZ et al., 2017), a avaliação da biometria destes em função do nível de ploidia é importante para orientar os melhoristas nos cruzamentos para obtenções de novas cultivares. Em relação as características agronômicas, nas plantas poliploides ocorre uma maior variabilidade genética, resultando em maior tamanho das estruturas vegetativas, como elevada produção de flores, frutos e sementes em comparação com as plantas tradicionalmente diploides (KIM; KIM, 2003).

O comprimento dos frutos variou de 6,2 cm nas cultivares diploides a 6,7 cm nas octaploides (FIGURA 2A), não havendo diferença significativa entre os níveis de ploidia. Algumas características agronômicas das plantas podem não ser favorecidas pelo nível de ploidia, conforme resultados observados por Vichiato et al. (2007) onde estudando análises estomática e morfométrica de folhas de *Dendrobium nobile* verificaram que as plantas diploides apresentaram comprimento superior às poliploides. Para o diâmetro dos frutos, também não houve diferença significativa entre os níveis de ploidia, variando de 4,4 a 4,7 cm nas diploides e octaploides, respectivamente (Figura 2B). Os valores de comprimento e largura dos frutos diferem dos observados por Nunes et al. (2017) pois ao avaliarem a caracterização físico-química de *O. ficus-indica* na região semiárida da Bahia, observaram valores de comprimento variando de 7,65 a 9,38 cm e diâmetro de 5,73 a 5,83 cm. Essa diferença pode ser em função da cultivar utilizada, das condições de cultivo e das características climáticas da região.

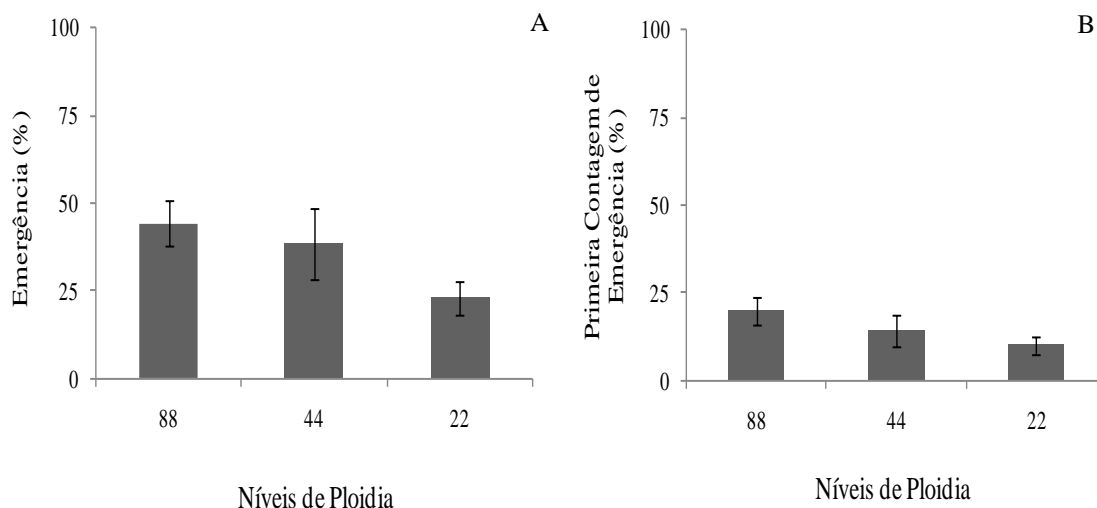


**Figura 2.** Comprimento (A) e Diâmetro dos Frutos (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

A emergência de plântulas também diferiu estatisticamente entre os níveis de ploidia, variando de 23 a 44%, nas cultivares diploides e octaploides, respectivamente (Figura 3A). Quando a emergência é comparada com as de outras espécies de cactáceas é considerada baixa, visto que pesquisa envolvendo sementes de facheiro (*Pilosocereus catingicola*) com frutos colhidos em diferentes municípios da Paraíba, resultou num percentual de emergência variando de 60 a 80% (MEDEIROS et al., 2015). Porém, é superior aos observados por Guedes et al. (2009) ao avaliarem a germinação e o vigor de sementes de palma forrageira, após tratamento para superar a dormência das sementes, observaram que nas sementes da testemunha a porcentagem de emergência foi de 20%, atingindo o máximo de 80% em sementes escarificadas com lixa mecânica.

A porcentagem de plântulas normais na primeira contagem variou de 10% nas cultivares diploides a 20% nas octaploides (Figura 3). O vigor avaliado pelo teste de primeira contagem, se baseia no princípio de que as cultivares com maior porcentagem de plântulas normais na primeira contagem, estabelecida pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sejam as mais vigorosas, o que se correlaciona com a velocidade de emergência (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). É esperado que o vigor de plantas poliploides aumente com o incremento no nível de ploidia (FREITAS, 2018). Isso ocorre devido os poliploides possuírem mais de dois genomas completos, o que se

torna uma força importante na evolução das plantas, por afetar a constituição genética e genômica e o fenótipo de um organismo (WEISS-SCHNEEWEISS et al., 2013).

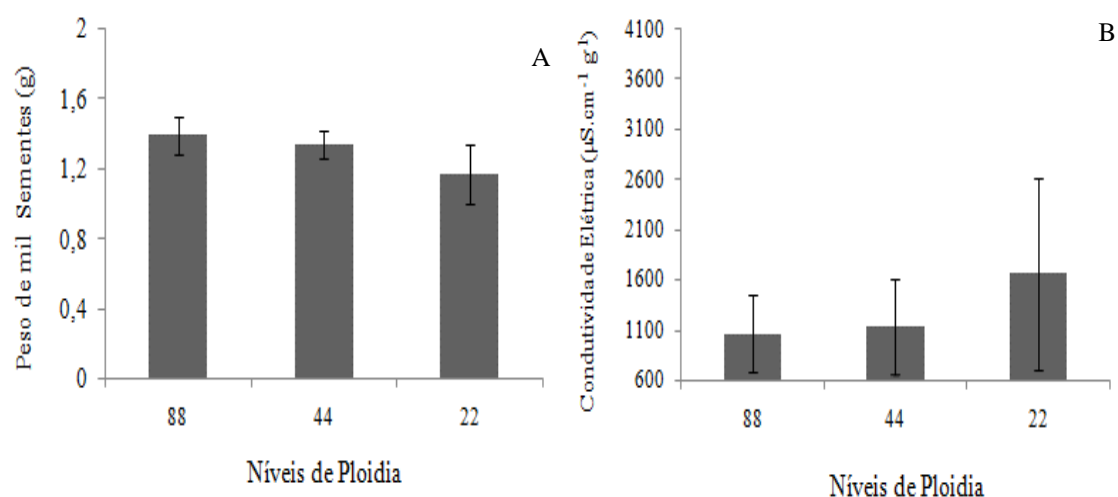


**Figura 3.** Porcentagem de Emergência (A) e Primeira Contagem de Emergência (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias (n=4)  $\pm$  erro padrão da média

O motivo para a baixa porcentagem de emergência em palma forrageira, pode estar associada a dormência das sementes, devido à resistência física do tegumento que dificulta a entrada de água e, como consequência o processo de germinação e emergência (GONZALEZ-CORTÉS et al., 2018), visto que as sementes de palma possuem o tegumento lignificado, contendo cerca de 55% de lignina e celulose, envolvendo o embrião com 90-95% do peso da semente, o que resulta no bloqueio da protrusão da radícula (HABIBI et al., 2008).

As sementes oriundas das cultivares octaploides e tetraploides possuem peso superior as colhidas de cultivares diploides, com 1,38; 1,33 e 1,16 g, respectivamente (Figura 4A). Ou seja, a translocação de reservas das plantas das cultivares poliploides para as sementes é superior as diploides. Assim, espera-se que as cultivares com as sementes mais pesadas apresentem maior porcentagem de emergência, fato observado no presente estudo, que também foi constatado por Almeida et al. (2014) ao avaliarem o estresse hídrico e o peso de sementes na germinação e no crescimento de plântulas de *Amburana cearenses*, constataram para todas as variáveis analisadas, efeito significativo do fator isolado peso de sementes.

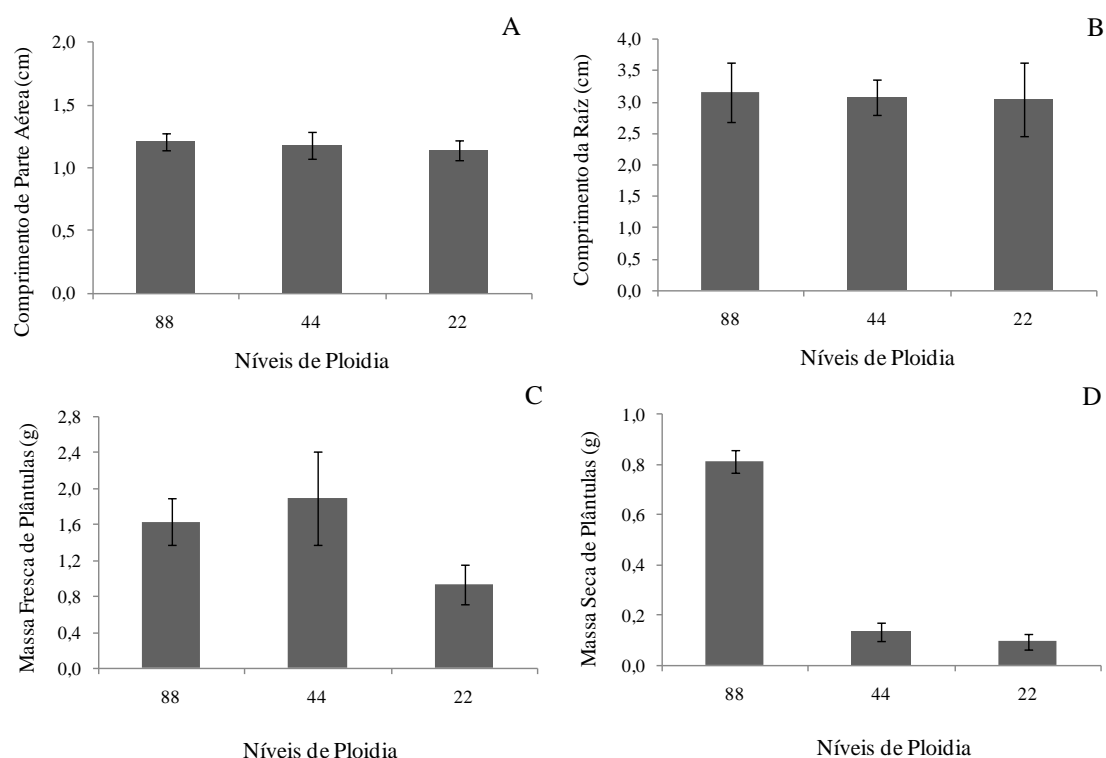




**Figura 4.** Peso de mil Sementes (A) e Condutividade Elétrica (B) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

No que se refere a condutividade elétrica, não houve diferença entre os níveis de ploidia (Figura 4B). Esse teste de vigor baseia-se no princípio de que, quando as sementes são embebidas em água acarreta o processo de deterioração, em função da lixiviação dos constituintes celulares, devido à perda da integridade dos sistemas de membranas celulares. Desse modo, baixa condutividade significa alta qualidade da semente, e alta condutividade sugere o menor vigor destas, ou seja, maior saída de lixiviados da semente (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Nesse sentido, mesmo não diferindo das poliploides, as sementes das cultivares diploides apresentam maior lixiviação ( $1662 \mu\text{S.cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) sendo, portanto, menos vigorosas, em relação às tetraploides e octaploides ( $1127$  e  $1061 \mu\text{S.cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), respectivamente.

Quanto ao comprimento da parte aérea e da raiz não houve diferença significativa entre os níveis de ploidia, onde a parte aérea mediu em média 1 cm (Figura 5A) e o tamanho da raiz foi de 3 cm (Figura 5B). Esse comportamento pode ser em função do crescimento lento que ocorre na palma forrageira. O teste de comprimento de plântulas é importante, pois este tem como princípio que plântulas com maior comprimento são mais vigorosas e conseguem completar o desenvolvimento mais rápido (NAKAGAWA, 1999).



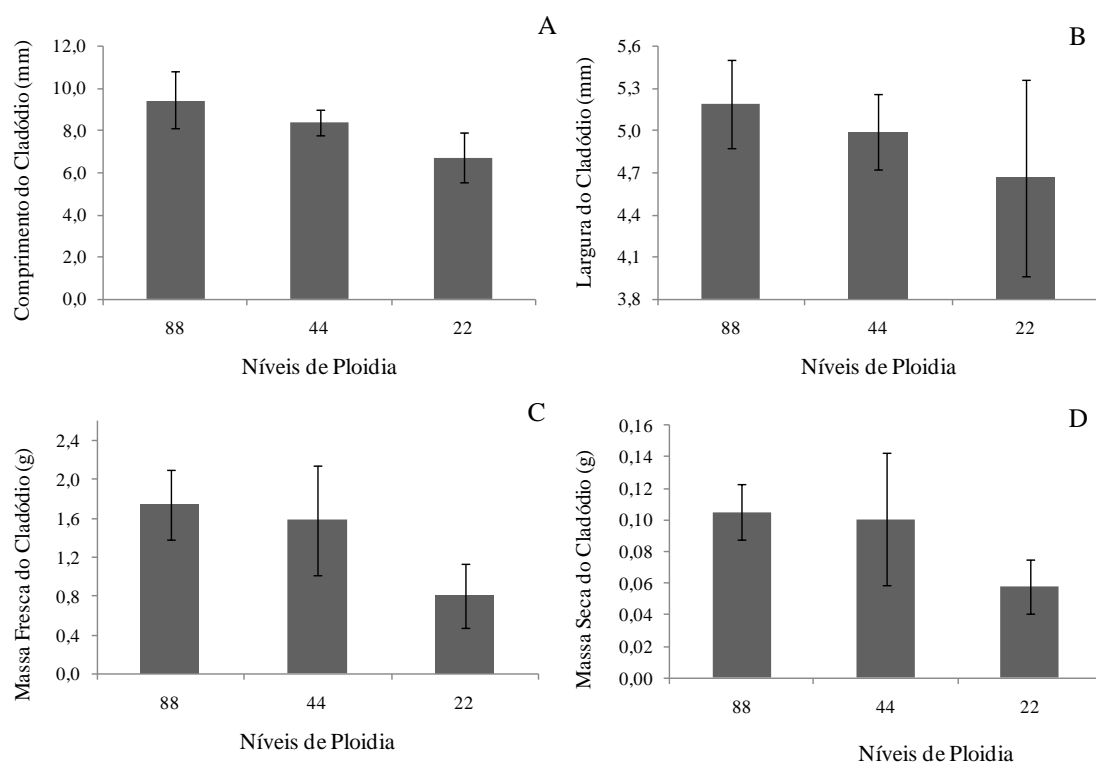
**Figura 5.** Comprimento da Parte Aérea (A) e Raiz (B), Massa Fresca (C) e Seca de Plântulas (D) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

A maior massa fresca de plântulas foi constatada (Figura 5C) em cultivares octaploides (2,214 g), que juntamente com aquelas oriundas de sementes de cultivares tetraploides (1,792 g), diferiram estatisticamente das cultivares diploides (1,052 g) (Figura 5C). O maior acúmulo de massa fresca das plântulas das cultivares poliploides, pode ser devido as sementes dessas cultivares serem mais vigorosas, e assim proporcionarem maior transferência de massa seca de seus tecidos de reserva para o eixo embrionário, na fase de germinação (emergência), resultando em plântulas com maior peso, em função do maior acúmulo de matéria (NAKAGAWA, 1999).

Para a massa seca de plântulas, o maior valor (0,213 g) foi obtido de plântulas oriundas de sementes das cultivares octaploides, seguido das tetraploides (0,13 g), que não diferiu significativamente das diploides (0,09 g) (Figura 5D). O valor obtido nas cultivares octaploides não difere dos encontrados por Guedes et al. (2008) onde avaliando tratamentos pré-germinativos em sementes de palma forrageira, observaram valor de massa seca das plântulas, de sementes sem superação da dormência, de aproximadamente 0,200 g, no trabalho os autores não citam qual cultivar de palma forrageira utilizaram,

porém pelo resultado da massa seca pode-se suspeitar que seja uma poliploide. O uso de cultivares poliploides vêm se tornando mais frequente, devido ao fato de possuírem algumas características diferenciadas (FARINATTI et al., 2006), como alta produção de massa total, rápido desenvolvimento e produção inicial, melhor qualidade e tamanho de sementes, se comparadas as cultivares diploides (SHAO et al., 2003).

No que se refere a avaliação dos cladódios das plântulas, nota-se diferença significativa em todas as variáveis, exceto a largura do cladódio. O comprimento dos cladódios variou de 6,72 a 9,45 mm, nas cultivares com  $2n=22$  e  $2n=88$ , respectivamente (Figura 6A), ou seja, as cultivares octaploides promovem plântulas com cladódios maiores em relação às diploides, isso acontece por que indivíduos poliploides tendem a apresentar aumento no tamanho dos órgãos e tecidos (COHEN; TEL-ZUR, 2012), além de aumento na atividade enzimática (STANYIS et al., 2006). Como a parte da palma forrageira consumida pelos animais são os cladódios, essa variável é importante, por refletir a produção final da cultura. Por outro lado, a largura do cladódio não diferiu entre o nível de ploidia variando entre 4,66 mm nas cultivares diploides a 5,18 mm nas octaploides (Figura 6B). Quanto a massa fresca dos cladódios, as cultivares diploides obtiveram peso significativamente inferior (0,802 g), diferindo das demais cultivares (1,742 e 1,581 g), octaploides e tetraploides, respectivamente (Figura 6C). Para a massa seca dos cladódios, as cultivares octaploides detiveram maior valor (0,105 g), seguido das tetraploides (0,100 g) que não diferiu das diploides (0,05 g) (Figura 6D).



**Figura 6.** Comprimento (A) e Largura (B), Massa Fresca (C) e Seca de Cladódios (D) de cultivares de Palma Forrageira, gêneros, *Opuntia* e *Nopalea*, em função do nível de ploidia (88, octaploide; 44, tetraploide e 22, diploide). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias (n=4)  $\pm$  erro padrão da média

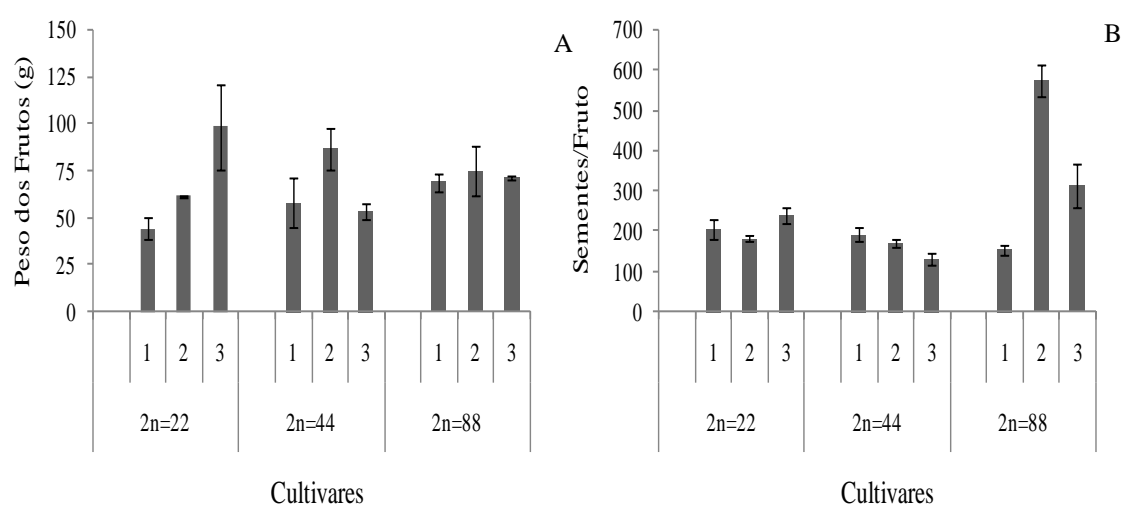
A palma forrageira possui elevada quantidade de água nos cladódios, chegando a 90% do peso total (LIRA et al., 2017). Fato comprovado pela massa fresca dos cladódios, com variação de 0,8 a 1,7 g (Figura 6C). As cultivares em estudo registraram em média 90% do peso total de água (Dados não publicados). Contudo, este conteúdo de água pode ser alterado a depender dos tratamentos culturais e do ambiente de cultivo (LOPES et al., 2009).

Quando foram avaliadas as cultivares dentro do nível de ploidia, observou-se diferença significativa para todas as variáveis, mostrando que as cultivares de palma forrageira se comportam de maneira diferente, no mesmo número de cromossomos (Tabela 3).

Para a variável peso dos frutos, as cultivares diploides diferiram estatisticamente entre si (Figura 7A). Os frutos mais pesados foram oriundos da cultivar 'IPA Sertânia' com 98,61g, não diferindo dos colhidos da 'F21' (61,89 g), que por sua vez não diferiu da 'F8'. Uma vantagem da cultivar 'IPA Sertânia' é sua resistência a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*), praga muito agressiva para a cultura da palma forrageira, em caso de alta infestação pode causar a morte da planta, pois suga a seiva, reduzindo a

produtividade (SANTOS et al., 2013). Apresenta também maior comprimento, largura e espessura dos cladódios (SILVA et al., 2015). O peso dos frutos das cultivares tetraploides e octaploides mantiveram-se constantes, não diferindo entre si.

O peso dos frutos das cultivares ‘IPA Sertânia’; ‘Orelha de Elefante Mexicana’; ‘Redonda’; ‘Gigante’ e ‘IPA Clone 20’ estão dentro do proposto por Mouro-Fé et al. (2013) que é de 69 a 216 g, isso significa que além do nível de ploidia, essa variação pode ser em função de outros fatores, como a cultivar, condições de cultivo etc. Os frutos de palma são consumidos em vários países do mundo, assim sendo essa variável é importante, pois reflete a produção da cultura.

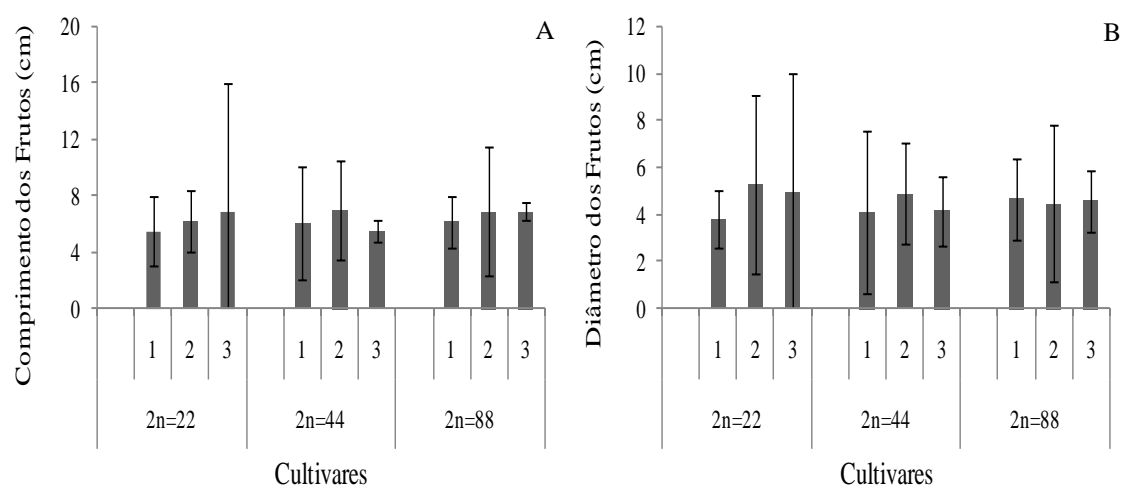


**Figura 7.** Peso dos frutos (A) e Número de Sementes/Fruto (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

O número de sementes por fruto não seguiu o comportamento esperado, ou seja, frutos mais pesados, maior quantidade de sementes. A cultivar que apresentou maior quantidade de sementes por fruto foi a ‘Gigante’ (576), poliploide com  $2n=88$  (Figura 7B). Em termos absolutos, a cultivar de peso superior ‘IPA Sertânia’, continha apenas 240 sementes. Provavelmente, isso ocorreu devido os frutos apresentarem elevada quantidade de polpa. A depender da cultivar, a polpa representa 45% do peso total, enquanto que as sementes de 5 a 15% do peso do fruto (RAMADAN; MÖRSEL, 2003),

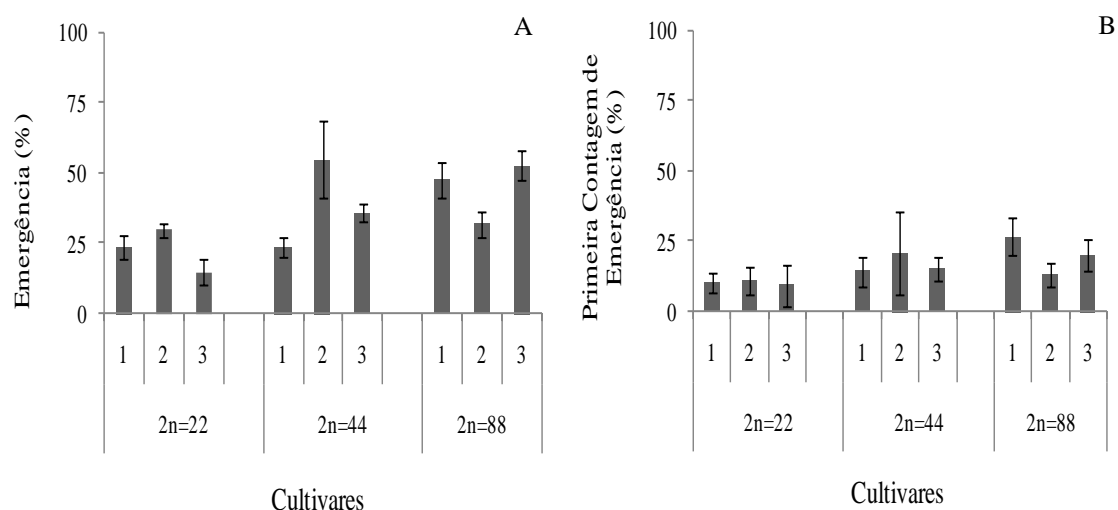
fato observado no presente estudo. Pesquisas sobre a influência do nível de ploidia em vegetais de diferentes espécies, mostram que a poliploidia é um fator que pode modular o fenótipo e as interações com o ambiente (CHEN, 2007). Um exemplo é a influência do nível de ploidia no perfil de produção de óleos essenciais em *Lippia alba*, sendo reconhecidos pelo menos 12 quimiotipos para esta espécie (NOGUEIRA et al., 2007; VICCINI et al., 2014).

As cultivares diploides e tetraploides diferiram entre si quanto ao comprimento dos frutos (Figura 8A), sendo que dentre as diploides a ‘IPA Sertânia’ produziu frutos maiores (6,90 cm), já entre as tetraploides, a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ em termos absolutos possuíam frutos de maior comprimento (7,78 cm). As cultivares octaploides não diferiram entre si, contendo comprimento médio de 6,5 cm em ambas as cultivares. Os valores de comprimento corroboram com os observados por Marques et al. (2017), ao constatarem comprimento de frutos de palma variando de 5 a 10 cm. Com relação ao diâmetro dos frutos, somente as cultivares diploides diferiram entre si, sendo a ‘F21’ a apresentar em valores absolutos maior diâmetro (5,3 cm) (Figura 8B). Essa variação dentro do mesmo nível de ploidia, pode ser explicado pelas diferenças entre as cultivares, por exemplo: a capacidade da planta em absorver nutrientes e translocar para os frutos.



**Figura 8.** Comprimento (A) e Diâmetro dos frutos (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

As cultivares tetraploides diferiam entre si quanto a porcentagem de emergência, sendo a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ a apresentar o maior valor (55%) (Figura 9A). Apesar de não diferirem entre si, as sementes das cultivares octaploides também possuem uma elevada porcentagem de emergência, variando de 32 a 53%. A avaliação da cultivar dentro do nível de ploidia é importante para os melhoristas, pois não basta afirmar que a poliploidia influencia a emergência, é necessário indicar quais cultivares devem ser cruzadas. Porém, outros fatores devem ser levados em consideração no momento de avaliar a emergência das sementes de cactos, como forma, tamanho, peso, estrutura, número de sementes por fruto, essas são características importantes que, em muitos casos, estão relacionadas com a dinâmica da germinação (ALTARE et al., 2006).



**Figura 9.** Porcentagem de Emergência (A) e Primeira Contagem de Emergência (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

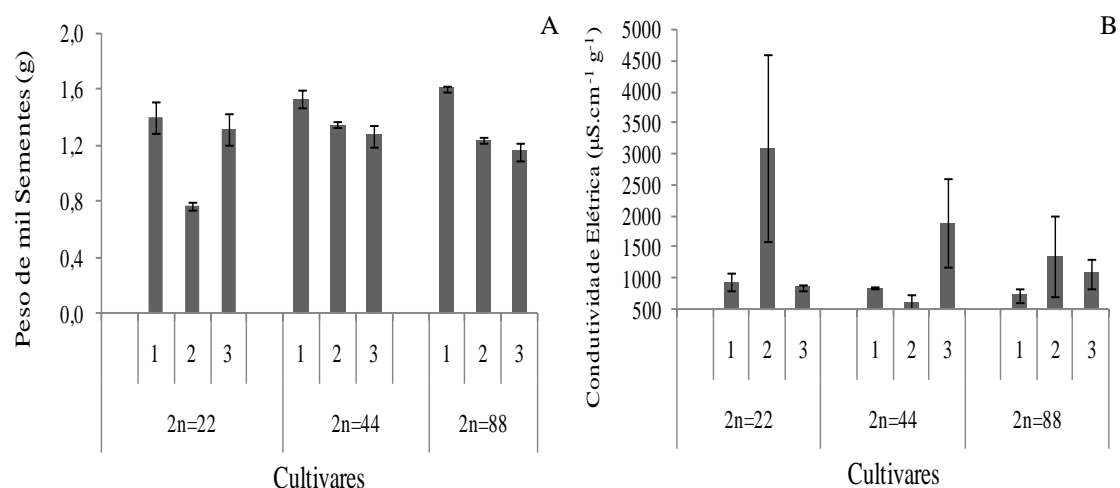
Para a primeira contagem de emergência, houve diferença apenas entre as cultivares octaploides (Figura 9B), destacando-se das demais a cultivar ‘Redonda’, com porcentagem de plântulas normais em torno de 26%. Já as cultivares diploides se mantiveram constantes e apresentaram menor porcentagem de plântulas normais (10%). As cultivares tetraploides também não diferiram entre si, com valores variando de 14 a 21%. Em se tratando das condições edafoclimáticas do semiárido, cultivares de palma

forrageira que detém de um rápido crescimento inicial se sobressai em relação as de crescimento lento, pois são beneficiadas com as primeiras chuvas.

Sementes de cactos no geral são pequenas e leves, com menos de 5 mm e 2 g, conforme observado no presente estudo. Houve diferença entre as cultivares dentro dos três níveis de ploidia. Entre as cultivares diploides os maiores pesos foram oriundos das sementes de 'F8' e 'IPA Sertânia' (1,4 e 1,3 g) (Figura 10A). Já para as tetraploides, as cultivares 'Clone 6 Orelha de Elefante Africana' e 'Orelha de Elefante Mexicana' detém sementes mais pesada (1,53 e 1,35 g). As sementes da cultivar 'Redonda' com  $2n=88$  apresentou peso de 1,60 g, diferindo das demais. O peso das sementes pode ser influenciado por vários fatores, entre eles: presença de ar (espaços vazios) no seu interior, composição química, maturidade e teor de água (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Sementes de maior massa possuem maior quantidade de reservas, que serão translocadas para as plântulas durante a germinação e emergência.

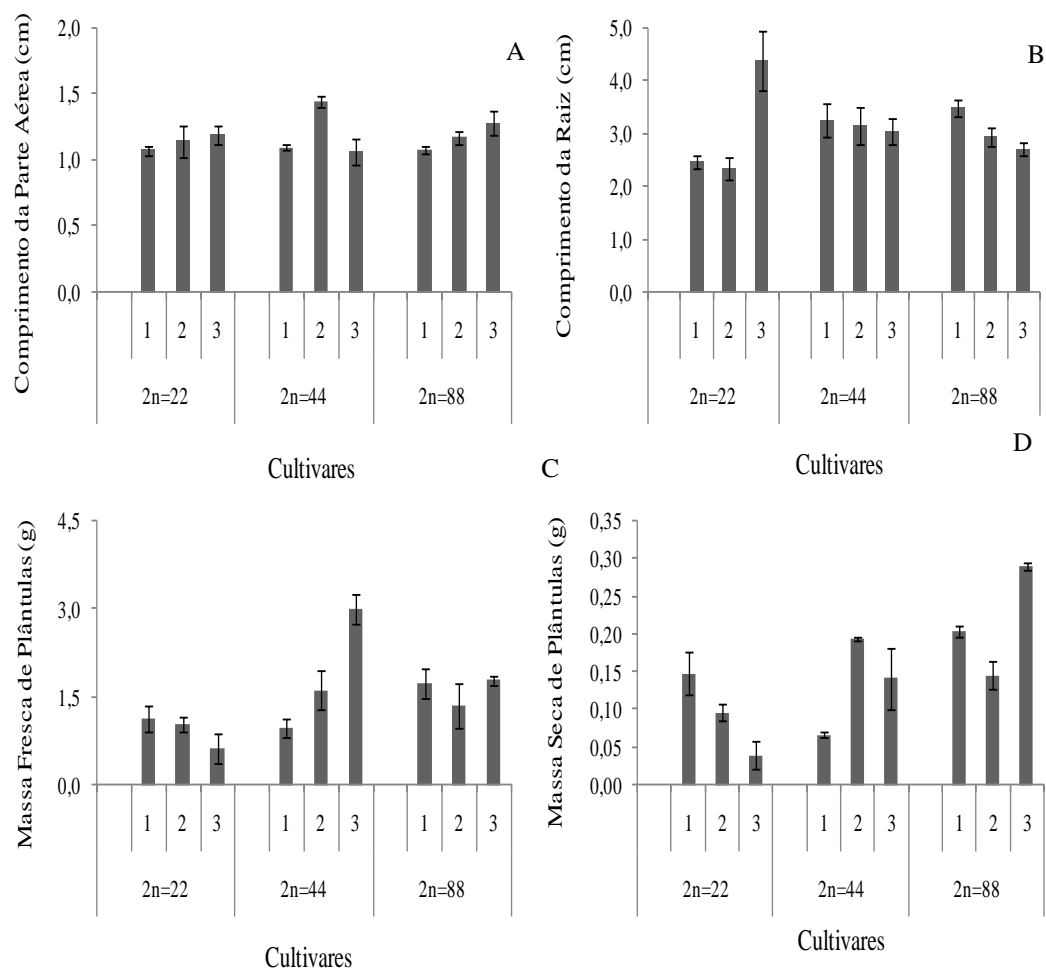
A cultivar diploide 'F21' possui menor peso das sementes (0,76 g), e isso pode estar relacionado com a produção de sementes inviáveis, ou mesmo imaturas, que ainda não completaram o seu desenvolvimento, ocasionando sementes menos vigorosas, fato que pode ser complementado pelo maior valor de condutividade elétrica da cultivar 3105  $\mu\text{S.cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  (Figura 10B). Por outro lado, a cultivar 'Orelha de Elefante Mexicana' ( $2n=44$ ) possui sementes com elevado vigor, em função do baixo valor de condutividade elétrica 629  $\mu\text{S.cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ . Nota-se uma grande variação dentro do mesmo nível de ploidia para a variável condutividade elétrica. Isso pode ocorrer em função dos constituintes das membranas de cada cultivar.





**Figura 10.** Peso de mil Sementes (A) e Condutividade Elétrica (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’) gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Letras comparam cultivares dentro de cada nível de ploidia. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

A avaliação das plântulas por meio do comprimento da parte aérea, mostra que somente das cultivares tetraploides diferiram entre si, com destaque para a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (1,45 cm), seguido da ‘V19’ com 1,06 g (Figura 11A).



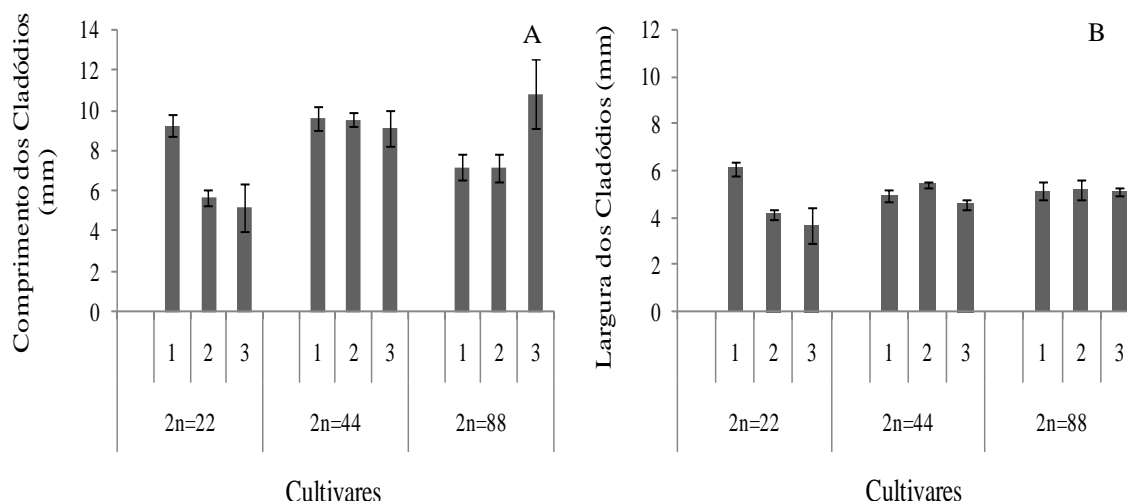
**Figura 11.** Comprimento da Parte Aérea (A) e Raiz (B), Massa Fresca (C) e Massa Seca de Plântulas (D) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

O crescimento das forrageiras não é representado somente pela parte aérea, mas, também, pelo desenvolvimento radicular. Se algum fator limitar o crescimento das raízes, pode prejudicar a produção de biomassa seca da planta e consequentemente a produtividade final, visto que a raiz é o caminho de entrada de água e nutrientes. Assim para melhor se conhecer uma espécie vegetal, principalmente em condições de limitações hídricas, é importante compreender o que ocorre na parte aérea e na raiz (EDVAN et al., 2013). No que se trata do comprimento da raiz, somente as cultivares diploides mostraram diferença, sendo que a cultivar, ‘IPA Sertânia’, superou as demais, tendo suas raízes

medido 4,1 cm (Figura 11B). Já as cultivares tetraploides e octaploides não diferiram entre si, com raízes medindo em torno de 3 cm.

O sistema radicular da palma forrageira detém de várias raízes finas próximas da camada superficial do solo (até 10-20 cm), que são adaptadas para absorver água de chuvas de baixa intensidade, caracterizando como uma vantagem em locais de baixo índice pluviométrico, permitindo rápida absorção da água, fato que aliado ao metabolismo CAM, permite elevado aproveitamento da água da chuva, a despeito da distribuição irregular da precipitação pluvial (RAMOS et al., 2015). A avaliação da massa fresca de plântulas mostrou que só houve diferença entre as cultivares tetraploides. Sendo a cultivar ‘V19’ a possuir maior valor (3,45 g) (Figura 11C). O menor valor de massa fresca foi oriundo da cultivar ‘IPA Sertânia’ (0,50 g). As cultivares dos três níveis de ploidia diferiram quanto a massa seca das plântulas. Dentre estas, a diploides ‘F8’ apresentou maior massa (0,14 g). A cultivar ‘Orelha de Elefante Mexicana’ foi a que teve de maior massa fresca entre as tetraploides com 0,19g. Enquanto que ‘IPA Clone 20’ foi a cultivar octaploide de peso superior (0,29 g) (Figura 11D). Pacheco (2017) ao avaliar o crescimento e a produção de óleo essencial em poliplóides de *Lippia alba*, constatou ser o aumento na biomassa das plantas diretamente proporcional ao número de ploidia.

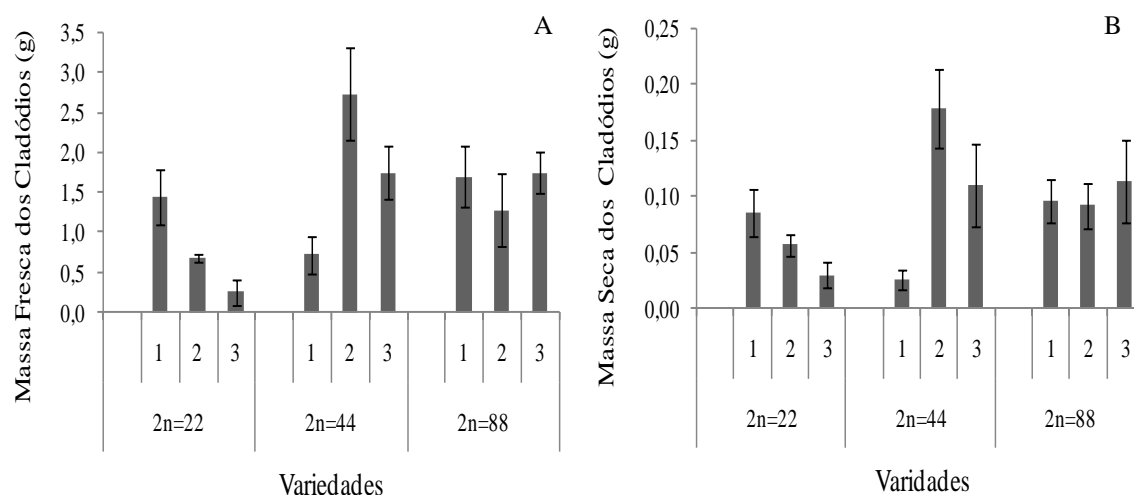
As cultivares diploides e poliploides diferiram entre si quando avaliadas com base no comprimento dos cladódios das suas plântulas (Figura 12A). O maior comprimento das octaploides (10,85 mm) foi observado na cultivar ‘IPA Clone 20’. Enquanto que a cultivar ‘F8’ obteve o maior comprimento (9,27 mm) entre as diploides. Esses resultados diferem dos observados por Vichiato et al. (2007) ao estudarem as análises estomática e morfométrica de folhas de plantas diploides e tetraploides de *Dendrobium nobile*, observaram comprimento das folhas diploides maiores que as folhas dos poliploides (tetraploides), ou seja, não basta ser poliploide, depende do número de cromossomos, a cultivar utilizada também pode influenciar. Os cladódios das tetraploides mantiveram, comprimento constante, em média 9 mm.



**Figura 12.** Comprimento (A) e Largura dos Cladódios (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

No mesmo estudo, esses autores observaram que as plantas diploides possuem maior largura das folhas (2,4 cm), diferindo das poliploides, corroborando com os resultados do presente estudo, em que a cultivares diploides ‘F8’ apresentaram cladódios com 6,11 mm de largura (Figura 12B), diferindo das demais dentro do mesmo nível de ploidia. Enquanto que as cultivares tetraploides e octaploides não diferiram entre si, com diâmetro em média 5 mm. Esta característica pode ser resultado de taxas menores de divisão celular, especialmente pelo fato de que espécies poliploides demandarem mais tempo para a replicação e organização dos cromossomos na mitose e meiose (TATE et al., 2005).

As cultivares diploides não diferiram entre si quanto a massa fresca dos cladódios, mesmo assim, a cultivar ‘F8’ deteve maior valor entre os diploides com 1,46 g. A massa fresca da cultivar ‘Orelha de Elefante Mexicana’ foi de 2,73 g, diferiu das demais cultivares tetraploides. Enquanto que as octaploides mantiveram peso constante em torno de 1,5 g, não diferindo entre si (Figura 13A). A cultivar ‘Orelha de Elefante Mexicana’ também possui maior área do cladódio, resultando num incremento da produtividade, e o índice de área de seus cladódios se sobressaiu nas condições do semiárido (SILVA et al., 2014b). O nível de ploidia de uma planta pode causar o aumento do tamanho de seus tecidos, devido ao maior volume celular (COSTA et al., 2000).



**Figura 13.** Massa Fresca (A) e Massa Seca dos Cladódios (B) de cultivares de Palma Forrageira dos gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) em função do nível de ploidia. Diploides -  $2n=22$  (1 – ‘F8’, 2 – ‘F21’ e 3 – ‘IPA Sertânia’); Tetraploides -  $2n=44$  (1 – ‘Clone 6 Orelha de Elefante Africana’, 2 – ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e 3 – ‘V19’) e Octaploides -  $2n=88$  (1 – ‘Redonda’, 2 – ‘Gigante’ e 3 – ‘IPA Clone 20’). Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo nível de ploidia, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As barras representam as médias ( $n=4$ )  $\pm$  erro padrão da média

A massa seca dos cladódios acompanhou o mesmo comportamento da massa fresca, somente as cultivares tetraploides diferiram entre si, com maior valor para a cultivar ‘Orelha de Elefante Mexicana’ com 0,1793 g (Figura 13D). Corroborando com os resultados obtidos por Alves et al. (2017) ao avaliarem a variabilidade química e nutricional de palma forrageira, observaram maior massa seca dos cladódios da ‘Orelha de Elefante Mexicana’. Os teores de nutrientes são determinados a partir da massa seca, portanto, uma vez que tal cultivar apresenta maiores teores de matéria seca, consequentemente, os maiores teores de nutrientes digestíveis totais (CAVALCANTE et al., 2014). Já as cultivares diploides mantiveram massa seca em torno de 0,04 g e as octaploides, 0,10 g.

#### 4. CONCLUSÕES

O nível de ploidia influencia de forma positiva o número de sementes por fruto e a qualidade fisiológica das sementes e plântulas;

As cultivares se comportam de maneira diferente dentro do mesmo nível de ploidia;

O vigor e a emergência dos poliploides se sobressaem em relação aos diploides;  
No contexto fenotípico associado à genética da planta, observou-se que a cultivar ‘IPA Sertânia’ produz frutos mais pesados e vigorosos, enquanto a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ origina cladódios mais pesados.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABUD, H. F.; GONÇALVES, N. R.; REIS, R. G. E.; PEREIRA, D. S.; BEZERRA. Germinação e expressão morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 468-474, 2010.
- ALMEIDA, J. P.; PINHEIRO, C. L.; LESSA, B. F. T.; GOMES, F. M.; MEDEIROS FILHO, S. Water stress and seed weight at germination and seedling growth in *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 777-787, 2014.
- ALTARE, M.; TRIONE, S.; GUEVARA, J. C.; CONY, M. Stimulation and promotion of germination in *Opuntia ficus-indica* seeds. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 8, p. 91-100, 2006.
- ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. S. Chemical and nutritional variability of cactus pear cladodes, genera *Opuntia* and *Nopalea*. **American Journal of Food Technology**, v. 12, n.1, p. 25-34, 2017.
- ANDRADE, A. P.; SANTOS, E. M.; SILVA, D. S.; COSTA, R. G.; XIMENES, L. J. F. 2010. **Variabilidade sazonal da oferta e demanda de forragem no semiárido brasileiro**. IN. XIMENES, L. J. F. (Eds.) *Ciência e Tecnologia na Pecuária de Caprinos e Ovinos*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010. p. 23-69.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed. FUNEP: Jaboticabal, 2012. 590p.
- CASSAR, L. F.; LANFRANCO, S.; SCHEMBRI, P. J. Report on a survey of the terrestrial ecological resources of the Qawra/Dwejra area, Western Gozo, Commissioned by Natur Trust Malta. **Ecoserv**, p. 1-82, 2004.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Response of cactus pear genotypes to different crop densities. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- CELESTI-GRAPOW, L.; BASSI, L.; BRUNDU, G.; CAMARDA, I.; CARLI, E.; D’AURIA, G.; DELGUACCHIO, E.; DOMINA, G.; FERRETTI, G.; FOGGI, B.; LAZZARO, L.; MAZZOLA, P.; PECCENINI, S.; PRETTO, F.; STINCA, A.; BLASI,

- C. Plant invasion on small Mediterranean islands: an overview. **Plant Biology**, v, 150, n. 5, p. 1119-1133, 2016.
- CHEN, Z. J. Genetic and epigenetic mechanisms for gene expression and phenotypic variation in plant polyploids. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, n. 1, p. 377-406, 2007.
- CHRISTENHUSZ, M.; FAY, M.; CHASE, M. W. **Plants of the World: An Illustrated Encyclopedia of Vascular Plants**. University of Chicago Press, 816p. 2017.
- COHEN, H.; TEL-ZUR, N. Morphological changes and self-incompatibility breakdown associated with autopolyploidization in *Hylocereus* species (Cactaceae). **Euphytica**, v. 184, n. 3, p. 345-354, 2012.
- CODY, R. **An Introduction to SAS University Edition**. SAS Institute, 2015.
- COTA-SÁNCHEZ, J. H.; BOMFIM-PATRÍCIO, M. C. Seed morphology, polyploidy and the evolutionary history of the epiphytic cactus *Rhipsalis baccifera* (Cactaceae). **Polibotanica**, v. 29, p. 107-129, 2010.
- COSTA, M. A. P. C.; ALMEIDA, W. A. B.; MOURÃO FILHO, F. A.; MENDES, B. M. J.; RODRIGUEZ, A. P. M. Análise estomática em híbridos somáticos de *Citrus*, obtidos através da fusão de protoplastos. Resumos do XIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo pag. 277, 2000.
- EDVAN, R. L.; FERNANDES, P. D.; CARNEIRO, M. S. S.; NEDER, D. G.; ARAÚJO, J. S.; ANDRADE, A. P.; SOUTO FILHO, L. T. Biomass accumulation and root growth of cactus pear in different harvest periods. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 373-381, 2013.
- FARINATTI, L. H. E.; ROCHA, M. G.; POLI, C. H. E. C.; PIRES, C. C.; POTTER, L.; SILVA, J. H. S. Desenvolvimento de ovinos recebendo suplementos ou mantidos exclusivamente em pastagens de azevém. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n. 2, p. 527-534, 2006.
- FREITAS, J. C. E. **Ecofisiologia em poliploides de *Lippia alba* sob diferentes regimes hídricos**, 2018. 62f. Dissertação (Mestrado - Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2018.
- GUERRERO, P. C.; MAJURE, L. C.; CORNEJO-ROMERO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, T. Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the cactus family. **Journal of Heredity**, v. 110, n. 1, p. 4-21, 2018.
- GONZALEZ-CORTÉS, A.; REYES-VALDÉS, M. H.; ROBLEDO-TORRES, V.; VILLARREAL-QUINTANILLA, J. A.; RAMÍREZ-GODINA, F. Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* sp.) species from Northeastern Mexico. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 10, p. 1676-1684, 2018.

GUEDES, R. S. ALVES, A. U.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.; MOURA, M. F.; LIMA, C. R. Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Opuntia ficus-indica* MILL, **Revista de Biologia e Farmácia**, v. 3, n. 1, p. 130-138, 2008

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.; MOURA, M. F. Germinação e vigor de sementes de *Opuntia ficus-indica* MILL. Após tratamentos para superar a dormência. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 20-26, 2009.

HABIBI, Y.; HEUX, L.; MAHROUZ, M.; IGNON, M. R. Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 102-112, 2008.

HAND, R.; HADJIKYRIAKOU, G. N.; CHRISTODOULOU, C. S. (Eds.), 2011. Flora of Cyprus – aDynamic Checklist. Published at <http://www.flora-of-cyprus.eu/>.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2015. Dados climáticos da Estação de Arcoverde: série histórica de 1961 a 2014. Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>.

KIM, M. S.; KIM, J. Y. Chromosome doubling of a Cymbidium hybrid with colchicine treatment in meristem culture. **Proceedings of NIOC**, v. 40, p. 37-40, 2003.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DIAS, F. M.; FERRAZ, A. P. F.; SILVAM M. C.; CUNHA, M. V.; MELLO, A. C. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, D. C. Palma forrageira: cultivo e usos. Recife: CREA, 2017. 76 p. (Caderno Semiárido 7).

LOPES, E. B.; BRITO, C. H. de; BATISTA, I. J. de L. Efeito de formas de plantio na produção de cladódios em palma doce. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 303-308, 2009.

MAJURE, L. C.; JUDD, W. S.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E. Cyto geography of the *Humifusa* clade of *Opuntia* ss Mill. 1754 (Cactaceae, Opuntioideae, Opuntieae): correlations with pleistocene refugia and morphological traits in a polyploid complex. **Comparative Cytogenetics**, v. 6, n. 1, p. 53-77, 2012.

MARCOS-FILHO, J. 2015. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660p.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MEDEIROS, R. L. S.; SOUZA, V. C.; AZEREDO, G. A.; PEREIRA, A. M. BARBOSA NETO, M. A.; MEDEIROS, V. A.; BARBOSA, A. S. Germination and seed vigor of *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. Salvadorensis (WERDERM.) Zappi (Cactaceae) from Caatinga of Paraíba. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 61-66, 2015.

MOURA-FÉ, C. R., BORGES, G. R. S., SOUSA, P. S. S.; CARMO, M. D. S. Uso das cactáceas na alimentação animal e humana no Brasil e no mundo. **Ciências e Inovação**:



**Tecnologias Sustentáveis para Preservação do Meio Ambiente**. v. 2, n. 1, p. 174-176, 2013.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 2-24.

NASCIMENTO, R. S. M.; CARDOSO, J. A.; COCOZZA, F. D. M. Caracterização física e físico-química de frutos de Mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8. p. 856-860, 2014.

NOGUEIRA, M. A.; DIAZ, G.; SAKUMO, L.; TAGAMI, P, M. Antibacterial Activity of *Lippia alba* (Lemon Herb). **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 26, n. 3, p. 404-406, 2007.

NUNES, V. X.; NUNES, N. X.; LONDE, L. N.; OLIVEIRA, C. G.; INOUE, N. A. M.; ROCHA, S. S.; CALAES, J. G. Physico-chemical characterization of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) in the semi-arid region of Bahia State, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 5, p. 3537-3541, 2017.

OCHOA, M. J.; GONZÁLEZ-FLORES, L. M.; CRUZ-RUBIO, J. M.; PORTILLO, L.; GÓMEZ-LEYVA, J. F. Effect of substrate and gibberellic acid (GA3) on seed germination in ten cultivars of *Opuntia* sps. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 17, p. 50-60, 2015.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. Physical chemistry characterization of fruit (*Opuntia ficus-indica* L. MILL) cultivated in Pernambuco. **Holos**, v. 3, p. 113-119, 2011.

PACHECO, V. S. **Efeitos da irradiância sobre a fotossíntese, crescimento e produção de óleo essencial em poliplóides de *Lippia alba* (Mill.) N.e.Brown (Verbenaceae)**, 2017. 73f. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2017.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

PUDDU, S.; PODDA, L.; MAYORAL, O.; DELAGE, A.; HUGOT, L.; PETIT, Y.; BACCHETTA, G. Comparative analysis of the alien vascular flora of Sardinia and Corsica. Notulae. **Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 44, n. 2, p. 337-346, 2016.

RAMADAN, M. F.; MÖRSEL, J. Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.)] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. **Food Chemistry**, v. 83, n. 3, p. 447-456, 2003.

RAMOS, J. P. F.; SANTOS, E. M.; CPINHO, R. M. A.; BEZERRA, H. F. C.; PEREIRA, G. A.; BELTRÃO, G. R.; OLIVEIRA, J. S. Vegetative growth of cactus forage depending on organic fertilization. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 16, n. 12, p. 1-11, 2015.

SANTOS, D.C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SILVA, R. M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.

SHAO, J., CHEN, C.; DENG, X. In vitro induction of tetraploid in pomegranate (*Punica granatum*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 75, n. 3, p. 241-246, 2003.

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Cactus pear forage production under different plant densities. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064-2071, 2014a.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. C.; CRUZ NET, J. F.; ARAÚJO, J. E. M. Cladode area of cactus forage clones: modeling, analysis and applicability. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014b.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. J.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A. SILVA, M. C. Growth and productivity of cactus forage clones in semiarid and relationship with meteorological variables. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SOUZA, D. M. M.; BRUNO, R. L. A.; ANDRADE, A. P.; DORNELA, C. S. M.; BRITO PRIMO, D. M. Comportamento de sementes de Palma (*Opuntia ficus-indica* L.) submetidas à fermentação e secagem. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 30-34, 2009.

STANYS V.; WECKMAN, A.; STANIENE, G.; DUCHOVSKIS, P. In vitro induction of polyploidy in japanese quince (*Chaenomeles japonica*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 84, n. 3, p. 263-268, 2006.

STEBBINS, G. L. **Chromosomal evolution in higher plants**. London: Edward Arnold, 1971. 216p.

TATI, J. A.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E. Polyploidy in Plants. *Genome Biology and Evolution*, p. 371-426, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VASCONCELOS, D. A.; MACEDO, A. S. A.; ZIERER, M. S. Número de cromossomos em populações de *Nopalea cochenillifera* (L.) Mill. (palma), do município de Floriano/PI, Brasil. 2ª Reunião Brasileira de Citogenética, Águas de Lindóia SP, 2011. pg. 118.

VICCINI, L. F.; VICCINI, L. L.; SILVEIRA, R. S.; VALE, A. A.; CAMPOS, J. M. S.; REIS, A. C.; SANTOS, M. O.; CAMPOS, V. R.; CARPANEZ, A. G.; GRAZUL, R. M. Citral and linalool content has been correlated to DNA content in *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown (Verbenaceae). **Industrial Crops & Products**, v. 59, p. 14-19, 2014.

VICHIATO M. R. M.; VICHIATO, M.; PASQUAL, M.; DE CASTRO, D. M.; DUTRA, L. F. Indução e identificação de tetraplóides em *Dendrobium nobile* Lindl. (Orchidaceae). **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 385-390, 2007.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Teste de condutividade elétrica**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. ABRATES, 1999. Cap. 4, p. 1- 26.

WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; MENEZES, R. S. C.; SANTOS, C. L.; LUCENA, J. A. Climatologia aplicada ao planejamento de cultivo da palma forrageira em bacia hidrográfica no semiárido do Nordeste brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 955-969, 2017.

WEISS-SCHNEEWEISS, H.; EMADZADE, K.; JANG, T. S.; SCHNEEWEISS, G. M. Evolutionary consequences, constraints and potential of polyploidy in plants. **Cytogenetic and Genome Research**, v. 140, n. 2-4, p. 137–150, 2013.